



PATENT
Attorney Docket No. 402801

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:

SHIGIHARA et al.

Application No. 10/668,185

Filed: September 24, 2003

For: SEMICONDUCTOR OPTICAL DEVICE

Art Unit: 2874

Examiner: Unassigned

CLAIM OF PRIORITY

Mail Stop
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

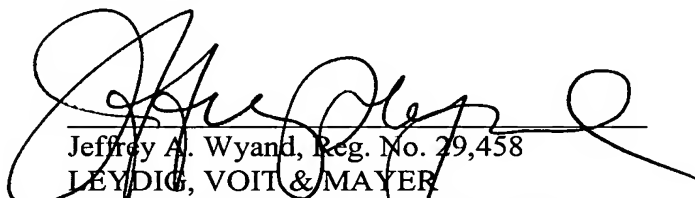
Dear Sir:

In accordance with the provisions of 35 USC 119, Applicants claim the priority of the following application or the applications (if more than one application is set out below):

Application No. 2002-283438, filed in Japan on September 27, 2002; Application No. 2003-57238, filed in Japan on March 4, 2003; and Application No. 2003-275554, filed in Japan on July 16, 2003.

Certified copies of the above-listed priority documents are enclosed.

Respectfully submitted,


Jeffrey A. Wyand, Reg. No. 29,458
LEYDIG, VOIT & MAYER
700 Thirteenth Street, N.W., Suite 300
Washington, DC 20005-3960
(202) 737-6770 (telephone)
(202) 737-6776 (facsimile)

Date: 
JAW:ves

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 9 月 2 7 日
Date of Application:

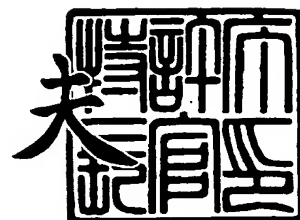
出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 8 3 4 3 8
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 2 - 2 8 3 4 3 8]

出 願 人 三 菱 電 機 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 0 月 2 1 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 8 6 7 4 0

【書類名】 特許願

【整理番号】 541887JP01

【提出日】 平成14年 9月27日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 5/028

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社
社内

【氏名】 嶋原 君男

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社
社内

【氏名】 川崎 和重

【特許出願人】

【識別番号】 000006013

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

【氏名又は名称】 三菱電機株式会社

【代理人】

【識別番号】 100062144

【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 葆

【選任した代理人】

【識別番号】 100086405

【弁理士】

【氏名又は名称】 河宮 治

【選任した代理人】

【識別番号】 100113170

【弁理士】

【氏名又は名称】 稲葉 和久

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013262

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体光素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 活性層と、前記活性層を挟む 2 枚のクラッド層とからなる導波層を含む積層構造体と、

前記積層構造体の一对の相対する端面部のうち少なくとも一方の端面部に形成された多層反射膜と

を備え、

前記多層反射膜は、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ が、前記導波層を導波する光の波長 λ について、 $\sum n_i d_i > \lambda / 4$ の関係を満足すると共に、

前記多層反射膜は、前記波長 λ の場合の反射率 $R(\lambda)$ を基準として、+2.0%以下となる前記波長 λ を含む連続する波長帯域幅 $\Delta\lambda$ が、前記積層構造体の実効屈折率 n_c と前記波長 λ の場合の反射率 $R(\lambda)$ とについて、下記の関係式

$$R(\lambda) = ((n_c - n_f)^2 / (n_c + n_f)^2)^2$$

を満たす屈折率 n_f の仮想単層反射膜を厚さ $5\lambda / (4n_f)$ だけ前記端面部に形成した場合の仮想屈折率 R' を基準として、+2.0%以下となる前記波長 λ を含む連続した波長帯域幅 $\Delta'\lambda$ よりも広いことを特徴とする半導体光素子。

【請求項 2】 活性層と、前記活性層を挟む 2 枚のクラッド層とからなる導波層を含む積層構造体と、

前記積層構造体の一对の相対する端面部のうち少なくとも一方の端面部に形成された多層反射膜と

を備え、

前記多層反射膜は、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ が、前記導波層を導波する光の波長 λ について、 $\sum n_i d_i > \lambda / 4$ の関係を満足すると共に、

前記多層反射膜は、反射率が前記波長 λ の場合の反射率 $R(\lambda)$ を基準として -1%から +2.0%の範囲内となる前記波長 λ を含む連続する波長帯域幅 $\Delta\lambda$

を、前記波長 λ で割った値 $\Delta\lambda/\lambda$ が0.062以上であることを特徴とする半導体光素子。

【請求項3】 前記多層反射膜は、前記導波層を含む前記積層構造体の実効屈折率 n_c の平方根より大きい屈折率の第1反射膜と、前記実効屈折率 n_c の平方根より小さい第2反射膜とを含むことを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。

【請求項4】 前記多層反射膜は、前記第1反射膜と前記第2反射膜とが交互に積層されていることを特徴とする請求項3に記載の半導体光素子。

【請求項5】 前記多層反射膜のうち、前記導波層に接する第1層膜は、前記導波層を含む前記積層構造体の実効屈折率 n_c の平方根よりも小さい屈折率を有することを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。

【請求項6】 前記多層反射膜は、3種類以上の膜で構成されることを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。

【請求項7】 前記多層反射膜は、7層膜で構成されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。

【請求項8】 前記多層反射膜は、6層膜で構成されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。

【請求項9】 前記多層反射膜は、9層膜で構成されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。

【請求項10】 前記多層反射膜のうち、前記導波層に接する第1層膜は、前記多層反射膜の中で最も大きい熱伝導率を有することを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。

【請求項11】 前記多層反射膜のうち、前記導波層に接する第1層膜は、窒化アルミニウムからなることを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。

【請求項12】 前記多層反射膜の反射率の極小値は、1～32%の範囲内にあることを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光情報処理用の光源、光通信の信号、及びファイバアンプの励起光源などとして用いられる半導体レーザ素子、及び光信号を増幅する半導体増幅器及び光信号を変調する光変調器等の半導体光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体レーザ素子や、光変調器等の半導体光素子の端面部の導波層には、通常、反射膜がコーティングされている。この半導体光素子の端面部に設けられた反射膜（コーティング膜：屈折率 n_1 ）の膜厚 d を $\lambda / (4 n_1)$ の奇数倍とすると、反射膜の反射率は極小値をとる。さらに、端面部に導波層を含む積層構造体の屈折率 n_c の平方根の屈折率を有するコーティング膜を形成することによって無反射膜が得られる。例えば、半導体レーザの端面の反射膜を無反射膜とした例（例えば、非特許文献 1 を参照）が知られている。

【0003】

半導体光素子の端面部の導波層を含む積層構造体（実効屈折率 $n_c = 3.37$ ）に膜厚を変えて形成された単層反射膜（屈折率 $n_1 = 1.449$ ）の反射率の波長依存性を考える。ここで、設定波長 $\lambda = 980 \text{ nm}$ で反射率が最小値をとるように設定する。反射率が最小値をとる場合とは、 $\lambda / (4 n_1)$ の奇数倍の膜厚の場合である。そこで、膜厚 $\lambda / (4 n_1)$ の単層反射膜の場合と、膜厚 $5 \lambda / (4 n_1)$ の単層反射膜のそれぞれの場合について検討すると、膜厚 $\lambda / (4 n_1)$ の単層反射膜のほうが膜厚 $5 \lambda / (4 n_1)$ の単層反射膜より反射率の極小値近傍における平坦部分が広いことがわかる。

【0004】

【非特許文献 1】

I. Ladany, et al., "Scandium oxide antireflection coatings for superluminescent LEDs", Appl. Opt. Vol. 25, No. 4, pp.472-473, (1986)

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

上記のように半導体光素子の端面部の反射膜の膜厚 d を $\lambda / (4 n_1)$ の奇数倍で厚膜化した場合には、反射率の極小値近傍における低反射率領域の波長帯域

が狭くなり、半導体レーザ特性が反射膜の反射率の波長依存性の影響を受けて大きく変化するという問題があった。

【0006】

そこで、本発明の目的は、広い波長帯域にわたって低反射率を有する反射膜を備えた半導体光素子を提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る半導体光素子は、活性層と、前記活性層を挟む2枚のクラッド層とからなる導波層を含む積層構造体と、

前記積層構造体の一对の相対する端面部のうち少なくとも一方の端面部に形成された多層反射膜とを備え、

前記多層反射膜は、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ が、前記導波層を導波する光の波長 λ について、 $\sum n_i d_i > \lambda / 4$ の関係を満足すると共に、

前記多層反射膜は、前記波長 λ の場合の反射率 $R(\lambda)$ を基準として、+2.0%以下となる前記波長 λ を含む連続する波長帯域幅 $\Delta\lambda$ が、前記積層構造体の実効屈折率 n_c と前記波長 λ の場合の反射率 $R(\lambda)$ とについて、下記の関係式

$$R(\lambda) = ((n_c - n_f)^2 / (n_c + n_f)^2)^2$$

を満たす屈折率 n_f の仮想単層反射膜を厚さ $5\lambda / (4n_f)$ だけ前記端面部に形成した場合の仮想屈折率 R' を基準として、+2.0%以下となる前記波長 λ を含む連続した波長帯域幅 $\Delta'\lambda$ よりも広いことを特徴とする。

【0008】

本発明に係る半導体光素子は、活性層と、前記活性層を挟む2枚のクラッド層とからなる導波層を含む積層構造体と、

前記積層構造体の一对の相対する端面部のうち少なくとも一方の端面部に形成された多層反射膜とを備え、

前記多層反射膜は、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ が、前記導波層を導波する光の波長 λ について、 $\sum n_i d_i > \lambda / 4$ の関係を満足すると共に、

前記多層反射膜は、反射率が前記波長 λ の場合の反射率 $R(\lambda)$ を基準として -1.0% から $+2.0\%$ の範囲内となる前記波長 λ を含む連続する波長帯域幅 $\Delta\lambda$ を、前記波長 λ で割った値 $\Delta\lambda / \lambda$ が 0.062 以上であることを特徴とする。

【0009】

なお、 $\sum n_i d_i$ について、好ましくは $\sum n_i d_i > 5\lambda / 4$ の関係を満たすことである。これによりさらに厚い反射膜とすることができる。また、上記波長帯域幅 $\Delta\lambda$ を、前記波長 λ で割った値 $\Delta\lambda / \lambda$ は、好ましくは、 0.070 以上であり、さらに好ましくは 0.090 以上、またさらに好ましくは 0.10 以上である。低反射率の波長帯域幅 $\Delta\lambda$ が広いと、反射率の波長依存性が小さいので、導波光の波長が変化した場合にも特性変化を抑制できる。

【0010】

前記多層反射膜は、前記導波層を含む前記積層構造体の実効屈折率 n_c の平方根より大きい屈折率の第1反射膜と、前記実効屈折率 n_c の平方根より小さい第2反射膜とを含むことが好ましい。

【0011】

また、前記多層反射膜は、前記第1反射膜と前記第2反射膜とが交互に積層されていることが好ましい。

【0012】

さらに、前記多層反射膜のうち、前記導波層に接する第1層膜は、前記導波層を含む前記積層構造体の実効屈折率の平方根よりも小さい屈折率を有することが好ましい。

【0013】

またさらに、前記多層反射膜は、3種類以上の膜で構成されることが好ましい。

【0014】

また、前記多層反射膜は、7層膜で構成されていることが好ましい。

【0015】

さらに、前記多層反射膜は、6層膜で構成されていることが好ましい。

【0016】

またさらに、前記多層反射膜は、9層膜で構成されていることが好ましい。

【0017】

また、前記多層反射膜のうち、前記導波層に接する第1層膜は、前記多層反射膜の中で最も大きい熱伝導率を有することが好ましい。

【0018】

さらに、前記多層反射膜のうち、前記導波層に接する第1層膜は、窒化アルミニウムからなることが好ましい。

【0019】

またさらに、前記多層反射膜の反射率の極小値は、1.0～32%の範囲内にあることが好ましい。

【0020】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態に係る半導体光素子について、添付図面を用いて説明する。なお、図面において、実質的に同一の部材には同一の符号を付している。

【0021】

まず、本発明の実施の形態に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜の反射率の算出について、図1から図5を用いて説明する。図1は、複素数表示された振幅反射率 r を示す複素平面図である。図2は、半導体光素子の端面部の単層反射膜を示す概略断面図である。図3は、図2の単層反射膜に代えて2層反射膜を設けた場合の概略断面図である。図4は、図2の単層反射膜に代えて4層反射膜を設けた場合の概略断面図である。図5は、単層反射膜に代えて7層反射膜を設けた場合の概略断面図である。波長 λ の光についての複素数表示された振幅反射率 r は、次式(1)で表され、図1の複素平面図上に表すことができる

【数1】

$$r = r_r(\lambda) + i r_i(\lambda) \quad (1)$$

ここで、 i は虚数単位 ($i = (-1)^{1/2}$) であり、 $r_r(\lambda)$ は、実数部であり、 $r_i(\lambda)$ は、虚数部である。通常用いられる反射率は、上記の振幅反射率の 2 乗であって、この反射率がゼロとなる場合とは、下記式 (2 a)、(2 b) のように振幅反射率の実数部及び虚数部とが共にゼロとなる場合である。これらの関係式を解くことによって反射率がゼロとなる条件を得ることができる。

【数 2】

$$r_r(\lambda) = 0 \quad (2 a)$$

$$r_i(\lambda) = 0 \quad (2 b)$$

【0022】

一方、ゼロでない反射率を求めようとする場合には、図 1 の複素平面上で円周上の各点の振幅反射率が該当することとなるため、上記のような条件式が一義的には定まらない。そこで、導波する光の波長 λ について所望の反射率が得られる仮想的な単層反射膜を考える。図 2 は、半導体光素子の導波層 10 の端面に単層反射膜 1 を設けた仮想単層反射膜の概略断面図である。反射膜 1 は大気等の自由空間 5 に面している。単層反射膜 1 の振幅反射率 r を最小にする条件は、半導体光素子の導波層 10 を導波する光の波長 λ 、単層反射膜 1 の屈折率 n_f 及び膜厚 d_f を用いて、下記式 (3) で表される。

【数 3】

$$d_f = \frac{\lambda}{4n_f}(2m+1) \quad (3)$$

ここで、 $m = 0, 1, 2, 3$ 等の負でない整数である。

【0023】

この仮想単層膜の振幅反射率 r の最小値は、下記式 (4) で表される。

【数 4】

$$r = \frac{n_c - n_f^2}{n_c + n_f^2} \quad (4)$$

【0024】

なお、反射率 R は、振幅反射率 r について、 $|r|^2$ で表される。つまり、 $R = ((n_c - n_f^2) / (n_c + n_f^2))^2$ で表される。従って、反射率 $R =$

4%を得ようとする、半導体光素子の導波層の実効屈折率 $n_c = 3.37$ の場合には、上記式を解いて、単層反射膜 1 の屈折率 n_f として、2.248 又は 1.499 が得られる。しかし、通常、このような屈折率を有する単層膜は得られないことが多い。そこで、上記仮想単層反射膜を多層反射膜で置換することについて検討する。

【0025】

上記の単層反射膜に代えて、2層反射膜を設けた場合の反射率について検討する。図3は、仮想単層反射膜に代えて、端面部に2層反射膜を用いた場合の概略断面図である。この2層反射膜の反射率の極小値を所定値に設定する条件について、本発明者らによる検討結果を説明する。2層反射膜を構成する第1層膜1及び第2層膜2の位相変化をそれぞれ ϕ_1 、 ϕ_2 とすると、下記式(5)及び(6)のように定義される。

【数5】

$$\phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} n_1 d_1 \quad (5)$$

【数6】

$$\phi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} n_2 d_2 \quad (6)$$

【0026】

この場合に、複素数表示による振幅反射率 r は次式(7)で表される。

【数7】

$$r = \frac{\text{Re}1 + i\text{Im}1}{\text{Re}2 + i\text{Im}2} \quad (7)$$

ここで、 i は虚数単位であり、 $\text{Re}1$ 及び $\text{Re}2$ はそれぞれ分子・分母の実数部であり、 $\text{Im}1$ 、 $\text{Im}2$ はそれぞれ分子・分母の虚数部である。

【0027】

上記式(7)の分子・分母における実部部 $\text{Re}1$ 、 $\text{Re}2$ と虚部部 $\text{Im}1$ 、 $\text{Im}2$ は、それぞれ次式(8a)から式(8d)のように表される。

【数 8】

$$\operatorname{Re} 1 = (n_c - 1) \cos \phi_1 \cos \phi_2 + \left(\frac{n_1}{n_2} - \frac{n_2 n_c}{n_1} \right) \sin \phi_1 \sin \phi_2 \quad (8 a)$$

【数 9】

$$\operatorname{Im} 1 = - \left\{ \left(\frac{n_c}{n_2} - n_2 \right) \cos \phi_1 \sin \phi_2 + \left(\frac{n_c}{n_1} - n_1 \right) \sin \phi_1 \cos \phi_2 \right\} \quad (8 b)$$

【数 1 0】

$$\operatorname{Re} 2 = (n_c + 1) \cos \phi_1 \cos \phi_2 - \left(\frac{n_2 n_c}{n_1} + \frac{n_1}{n_2} \right) \sin \phi_1 \sin \phi_2 \quad (8 c)$$

【数 1 1】

$$\operatorname{Im} 2 = - \left\{ \left(\frac{n_c}{n_2} + n_2 \right) \cos \phi_1 \sin \phi_2 + \left(\frac{n_c}{n_1} + n_1 \right) \sin \phi_1 \cos \phi_2 \right\} \quad (8 d)$$

【0 0 2 8】

また、電力反射率 R は、上記振幅反射率 r を用いて $|r|^2$ で表される。この式 (7) で表される振幅反射率が、式 (4) で表される上記仮想単層反射膜の振幅反射率と等しくなるように厚さ d_1 及び d_2 を決めればよい。

【0 0 2 9】

図 4 は、単層反射膜に代えて、端面部に 4 層反射膜を設ける場合の概略断面図である。この 4 層反射膜の反射率が設定波長で前記仮想単層膜の反射率と同一になる条件について検討する。4 層反射膜の場合には、振幅反射率は下記式 (9) で表される。

【数 1 2】

$$r = \frac{(m_{11} + m_{12})n_c - (m_{21} + m_{22})}{(m_{11} + m_{12})n_c + (m_{21} + m_{22})} \quad (9)$$

【0 0 3 0】

ここで、 m_{ij} (i, j は 1 又は 2) は下記式 (10) で表される。

【数 1 3】

$$\begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos A\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin A\phi_1 \\ -in_1 \sin A\phi_1 & \cos A\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos A\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin A\phi_2 \\ -in_2 \sin A\phi_2 & \cos A\phi_2 \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} \cos B\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin B\phi_1 \\ -in_1 \sin B\phi_1 & \cos B\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos B\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin B\phi_2 \\ -in_2 \sin B\phi_2 & \cos B\phi_2 \end{pmatrix} \quad (10)$$

なお、A、Bは、第1層膜1の膜厚A d 1、第2層膜2の膜厚A d 2、第3層膜3の膜厚B d 1、第4層膜4の膜厚B d 2とした場合の、それぞれの2層膜（ペア）の寄与率を表すパラメータである。

【0 0 3 1】

図5は、単層反射膜に代えて、導波層10の端面部に7層反射膜20を設けた場合の概略断面図である。この7層反射膜20の反射率が前記仮想単層膜の反射率と同一になるように設定する条件について検討する。7層反射膜20の場合には、振幅反射率は、4層反射膜と同様に下記式（11）で表される。

【数 1 4】

$$r = \frac{(m_{11} + m_{12})n_c - (m_{21} + m_{22})}{(m_{11} + m_{12})n_c + (m_{21} + m_{22})} \quad (11)$$

【0 0 3 2】

ここで、 m_{ij} （ i, j は1又は2）は下記式（12）で表される。

【数 1 5】

$$\begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos O\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin O\phi_2 \\ -in_2 \sin O\phi_2 & \cos O\phi_2 \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} \cos A\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin A\phi_1 \\ -in_1 \sin A\phi_1 & \cos A\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos A\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin A\phi_2 \\ -in_2 \sin A\phi_2 & \cos A\phi_2 \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} \cos B\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin B\phi_1 \\ -in_1 \sin B\phi_1 & \cos B\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos B\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin B\phi_2 \\ -in_2 \sin B\phi_2 & \cos B\phi_2 \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} \cos C\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin C\phi_1 \\ -in_1 \sin C\phi_1 & \cos C\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos C\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin C\phi_2 \\ -in_2 \sin C\phi_2 & \cos C\phi_2 \end{pmatrix} \quad (12)$$

なお、O, A, B, Cは、第1層膜11の膜厚Od2、第2層膜12の膜厚Ad1、第3層膜13の膜厚Ad2、第4層膜14の膜厚Bd1、第5層膜15の膜厚Bd2、第6層膜16の膜厚Cd1、第7層膜17の膜厚Cd2とした場合の、それぞれの2層膜（ペア）の寄与率を表すパラメータである。

【0033】

実施の形態1.

本発明の実施の形態1に係る半導体光素子について、図5及び図6を用いて説明する。図5は、単層反射膜に代えて7層反射膜を設けた場合の概略断面図である。この半導体光素子は、例えば、半導体レーザ素子、光変調器、光スイッチ等である。この半導体光素子は、光が導波する導波層の端面部に所定波長を中心とした広い波長帯域にわたって低反射率を有する多層反射膜を設けている。このように低反射率の多層反射膜を設けることにより、例えば、半導体レーザ素子の場合にはいわゆる戻り光によるノイズ等の発生を低減することができる。また、光変調器及び光スイッチの場合には、信号を低損失で透過させることができる。また、この多層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率を有するので、発振波長が変化した場合や、信号の中心波長が変化した場合にも反射特性の波長依存性を抑制できる。

【0034】

以下、半導体光素子の端面部に設けた7層反射膜20について図5を用いて説明する。図5は、半導体光素子の端面部に設けた7層反射膜20の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子では、導波層10（等価屈折率 $n_c = 3.37$ ）の端面部に、アルミナの第1層膜11（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚Od2）、酸化タantalの第2層膜12（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚Ad1）、アルミナの第3層膜13（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚Ad2）、酸化タantalの第4層膜14（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚Bd1）、アルミナの第5層膜15（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚Bd2）、酸化タantalの第6層膜16（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚Cd1）、アルミナの第7層膜17（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚Cd2）が順に積層されている。また、第7層膜17は大気等の自由空間5と接している。

【0035】

この半導体光素子の端面部に設けられた7層反射膜20の反射特性について説明する。まず、設定波長 $\lambda = 980 \text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を2%とする。各パラメータを、 $O = 0.2$ 、 $A = 2.2$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 が、それぞれ $\phi_1 = 0.45844$ 、 $\phi_2 = 1.14932$ である場合に波長 980 nm で反射率2%が得られる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 22.13 \text{ nm} / 76.47 \text{ nm} / 243.44 \text{ nm} / 69.52 \text{ nm} / 221.31 \text{ nm} / 69.52 \text{ nm} / 221.31 \text{ nm}$ である。全体の膜厚($d_{total} = \sum d_i$)は 923.7 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 1590.57 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長($= 245 \text{ nm}$)の約6.49倍と非常に厚い。即ち、導波する光の所定波長 980 nm について、その $5/4$ 波長よりも厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0036】

図6は、この7層反射膜20の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。ここで設定反射率のおよそ+1%が目標反射率である。この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって目標反射率の3%前後の平坦部分が得られている。即ち、波長 968 nm から 1210 nm にわたって反射率は極小値の1.3%から4.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長 980 nm の反射率2.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、1.0%~4.0%の範囲の連続した波長帯域は 242 nm である。この波長帯域を設定波長 $\lambda (= 980 \text{ nm})$ で割った値は約0.246であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、上述のように導波光の所定波長 980 nm について $5/4$ 波長より厚い膜厚であるにもかかわらず、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0037】

実施の形態 2.

本発明の実施の形態 2 に係る 7 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 7 を用いて説明する。図 7 は、この 7 層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。この半導体光素子は、実施の形態 1 に係る半導体光素子と比較すると、多層膜の構成において共通するが、設定波長 λ が 879 nm で設定反射率 $R(\lambda)$ を 2.0% としている点で相違する。各パラメータを、 $O=0.2$ 、 $A=2.2$ 、 $B=2.0$ 、 $C=2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 が、それぞれ $\phi_1=0.45844$ 、 $\phi_2=1.14932$ である場合に波長 879 nm で反射率 2% が得られる。この場合、7 層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 19.85 \text{ nm} / 68.59 \text{ nm} / 218.35 \text{ nm} / 62.36 \text{ nm} / 198.50 \text{ nm} / 62.36 \text{ nm} / 198.50 \text{ nm}$ である。全体の膜厚 ($d_{\text{total}} = \sum d_i$) は 828.51 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1426.66 nm であり、所定波長 980 nm について $1/4$ 波長 (= 245 nm) の約 5.82 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0038】

図 7 は、この 7 層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 7 層反射膜は、目標反射率の 3% 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 861 nm から 1098 nm にわたって反射率は極小値の 1.3% から 4.0% の範囲内に収まっている。この場合、導波光の所定波長 980 nm を略中心として平坦部分が得られる。また、設定波長 879 nm の反射率 2.0% を基準として、-1.0% から +2.0% の範囲、即ち、1.0% ~ 4.0% の範囲の連続した波長帯域 $\Delta\lambda$ は 237 nm である。この波長帯域を設定波長 879 nm で割った値は約 0.270 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 7 層反射膜は、上述のように導波光の所定波長 980 nm について $5/4$ 波長より厚い膜厚であるにもかかわらず、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。なお、ここで「所定波長」とは、導波層を導波する

光の波長であって、この場合には 980 nm の光としている。一方、「設定波長」とは、上記所定波長を低反射率の平坦部の略中心となるように設定する波長である。

【0039】

次に、極小反射率を基準として +2.0% となる波長帯域の広さについて、この 7 層反射膜と仮想単層反射膜とを比較検討する。この 7 層反射膜の極小反射率は 1.3% である。そこで、極小反射率を基準として +2.0% となる波長範囲、つまり反射率 3.3% 以下の範囲は波長 866 nm から 1089 nm である。即ち、波長帯域としては 223 nm である。一方、仮想単層反射膜によって同一の極小反射率を実現しようとする場合、実効屈折率 $n_c = 3.37$ であるので、単層膜の屈折率 n_f は 1.637 又は 2.058 とすればよい。例えば、図 8 に屈折率 $n_f = 1.637$ であって、膜厚 $d = 5\lambda / (4n_f)$ の仮想単層反射膜の波長依存性を示す。この仮想単層反射膜の極小反射率 1.3% を基準として極小反射率 +2.0% 以内となる範囲は、波長 952 nm から 1009 nm である。即ち、波長帯域としては 57 nm である。したがって、7 層反射膜は、膜厚 $d = 5\lambda / (4n_f)$ の仮想単層反射膜に比べて低反射率の波長帯域が非常に広い。

【0040】

実施の形態 3.

本発明の実施の形態 3 に係る 7 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 9 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 1 に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 980$ nm で設定反射率 $R(\lambda)$ を 3.0% としている点で相違する。また、パラメータは $O = 0.2$ 、 $A = 2.4$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、酸化タンタル及びアルミナのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.518834$ 、 $\phi_2 = 0.789695$ とすることによって波長 980 nm で反射率 3.0% とすることができる。この場合、7 層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 15.21$ nm / 94.42 nm / 182.47 nm / 78.68 nm / 152.06 nm / 78.68 nm / 152.06 nm である。全体の膜厚 (d

$t_{total} = \sum d_i$) は 753.58 nm である。それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1330.83 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 (= 245 nm) の約 5.43 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0041】

図9は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 841 nm から 1014 nm にわたって反射率は 2.5% から 5.0% の範囲内に収まっている。また、設定波長 980 nm の反射率 3.0% を基準として、-1.0% から +2.0% の範囲、即ち、2.0% ~ 5.0% の範囲の連続した波長帯域は 173 nm である。この波長帯域を設定波長 980 nm で割った値は約 0.177 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0042】

実施の形態4.

本発明の実施の形態4に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図10を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態3に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 1035$ nm で設定反射率 $R(\lambda)$ を 3.0% としている点で相違する。また、パラメータは $O = 0.2$ 、 $A = 2.4$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、酸化タンタル及びアルミナのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.518834$ 、 $\phi_2 = 0.789695$ とすることによって波長 1035 nm で反射率 3.0% とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 16.06$ nm / 99.72 nm / 192.72 nm / 83.10 nm / 160.60 nm / 83.10 nm / 160.60 nm である。全体の膜厚 ($d_{total} = \sum d_i$) は 795.9 nm である。それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1405.57 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 (= 258.75 nm) の約 5.43 倍と非常

に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0043】

図9は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長888nmから1071nmにわたって反射率は2.5%から5.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長1035nmの設定反射率3.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、2.0%~5.0%の範囲の連続した波長帯域は183nmである。この波長帯域を設定波長1035nmで割った値は約0.177であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0044】

実施の形態5.

本発明の実施の形態5に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図11を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態1に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を4.0%としている点で相違する。また、パラメータは $O = 0.15$ 、 $A = 2.5$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、酸化タンタル及びアルミナのそれぞれの位相変化 $\phi 1$ 及び $\phi 2$ を、 $\phi 1 = 0.52082$ 、 $\phi 2 = 0.767337$ とすることによって波長980nmで反射率4.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d 2 / A d 1 / A d 2 / B d 1 / B d 2 / C d 1 / C d 2 = 11.08\text{ nm} / 98.73\text{ nm} / 184.70\text{ nm} / 78.98\text{ nm} / 147.76\text{ nm} / 78.98\text{ nm} / 147.76\text{ nm}$ である。全体の膜厚($d_{total} = \sum d_i$)は747.99nmである。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1323.92nmであり、所定波長980nmの1/4波長(=245nm)の約5.40倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制でき

る。

【0045】

図11は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長834 nmから10121 nmにわたって反射率は3.5%から6.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長980 nmの設定反射率4.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、3.0%~6.0%の範囲の連続した波長帯域は178 nmである。この波長帯域を設定波長980 nmで割った値は約0.182であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0046】

実施の形態6.

本発明の実施の形態6に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図12を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態5に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 1040$ nmで設定反射率 $R(\lambda)$ を4.0%としている点で相違する。また、パラメータは $O = 0.15$ 、 $A = 2.5$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、酸化タンタル及びアルミナのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.52082$ 、 $\phi_2 = 0.767337$ とすることによって波長1040 nmで反射率4.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 11.76$ nm / 104.77 nm / 196.00 nm / 83.82 nm / 156.80 nm / 83.82 nm / 156.80 nmである。全体の膜厚($d_{total} = \sum d_i$)は793.77 nmである。それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1404.95 nmであり、所定波長980 nmの1/4波長(=245 nm)の約5.73倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0047】

図12は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長885nmから1074nmにわたって反射率は3.5%から6.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長1040nmの設定反射率4.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、3.0%~6.0%の範囲の連続した波長帯域は189nmである。この波長帯域を設定波長1040nmで割った値は約0.182であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0048】

実施の形態7.

本発明の実施の形態7に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図13を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態1に係る半導体光素子と比較すると、設定波長980nmで目標反射率5.0%としている点で相違する。また、パラメータは $O=0.15$ 、 $A=2.5$ 、 $B=2.0$ 、 $C=2.0$ としている。さらに、酸化タンタル及びアルミナのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1=0.541022$ 、 $\phi_2=0.741397$ とすることによって波長980nmで反射率5.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 10.71 \text{ nm} / 102.56 \text{ nm} / 178.45 \text{ nm} / 82.05 \text{ nm} / 142.76 \text{ nm} / 82.05 \text{ nm} / 142.76 \text{ nm}$ である。全体の膜厚($d_{total} = \sum d_i$)は741.34nmである。それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1391.41nmであり、所定波長980nmの $1/4$ 波長(=245nm)の約5.38倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0049】

図13は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフ

の横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 7 層反射膜は、目標反射率の 6 % 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 843 nm から 1013 nm にわたって反射率は 4.6 % から 7.0 % の範囲内に収まっている。また、設定波長 980 nm の設定反射率 5.0 % を基準として、 -1.0% から $+2.0\%$ の範囲、即ち、 4.0% ~ 7.0% の範囲の連続した波長帯域は 170 nm である。この波長帯域を設定波長 980 nm で割った値は約 0.173 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 7 層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0050】

実施の形態 8.

本発明の実施の形態 8 に係る 7 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 14 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 7 に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 1035 nm で設定反射率 5.0 % としている点で相違する。また、パラメータは $O=0.15$ 、 $A=2.5$ 、 $B=2.0$ 、 $C=2.0$ としている。さらに、酸化タンタル及びアルミナのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1=0.541022$ 、 $\phi_2=0.741397$ とすることによって波長 1035 nm で反射率 5.0 % とすることができる。この場合、7 層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 11.31 \text{ nm} / 108.31 \text{ nm} / 188.47 \text{ nm} / 86.65 \text{ nm} / 150.77 \text{ nm} / 86.65 \text{ nm} / 150.77 \text{ nm}$ である。全体の膜厚 ($d_{total} = \sum d_i$) は 782.93 nm である。それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1391.41 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 ($=245 \text{ nm}$) の約 5.68 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0051】

図 14 は、この 7 層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 7 層反射膜は、目標反射率の 6 % 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 890 nm

mから1070nmにわたって反射率は4.6%から7.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長1035nmの設定反射率5.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、4.0%~7.0%の範囲の連続した波長帯域は170nmである。この波長帯域を設定波長1035nmで割った値は約0.164であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0052】

実施の形態9.

本発明の実施の形態9に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図15及び図16を用いて説明する。図15は、この半導体光素子の端面部の反射膜として、第1層膜に酸化タンタル膜を用いた7層反射膜30を設けた場合の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子は、実施の形態1に係る半導体光素子と比較すると、7層反射膜30が導波層10側から酸化タンタル21/アルミナ22/酸化タンタル23/アルミナ24/酸化タンタル25/アルミナ26/酸化タンタル27の順に積層されており、導波層10側の第1層膜21が酸化タンタルである点で相違する。具体的には、7層反射膜30は、導波層10側から順に、酸化タンタルの第1層膜21（屈折率 $n_2 = 2.037$ 、膜厚 Od_2 ）、アルミナの第2層膜22（屈折率 $n_1 = 1.62$ 、膜厚 Ad_1 ）、酸化タンタルの第3層膜23（屈折率 $n_2 = 2.037$ 、膜厚 Ad_2 ）、アルミナの第4層膜24（屈折率 $n_1 = 1.62$ 、膜厚 Bd_1 ）、酸化タンタルの第5層膜25（屈折率 $n_2 = 2.037$ 、膜厚 Bd_2 ）、アルミナの第6層膜26（屈折率 $n_1 = 1.62$ 、膜厚 Cd_1 ）、酸化タンタルの第7層膜27（屈折率 $n_2 = 2.037$ 、膜厚 Cd_2 ）とが積層されている。なお、アルミナと酸化タンタルとが交互に積層されている点で実施の形態1に係る半導体光素子と共通する。

【0053】

この半導体光素子の端面部の7層反射膜30において、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を2.0%とする。この場合、各パラメータを $O = 1.15$ 、 $A = 1.82$ 、 $B = 1.97$ 、 $C = 2.06$ とすると、アルミナ及び酸化

タンタルの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 がそれぞれ $\phi_1 = 0.645821$ 、 $\phi_2 = 1.452041$ の場合に波長 980 nm で反射率を 2% とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 126.62\text{ nm} / 113.17\text{ nm} / 200.38\text{ nm} / 122.49\text{ nm} / 216.90\text{ nm} / 128.09\text{ nm} / 226.81\text{ nm}$ である。全体の膜厚 ($d_{total} = \sum d_i$) は 1134.46 nm である。それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 2174.63 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 ($= 245\text{ nm}$) の約 8.88 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0054】

図16は、この7層反射膜30の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の 3% 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 996 nm から 1119 nm にわたって反射率は 1.5% から 4.0% の範囲内に収まっている。また、設定波長 980 nm の設定反射率 2.0% を基準として、 -1.0% から $+2.0\%$ の範囲、即ち、 $1.0\% \sim 4.0\%$ の範囲の連続した波長帯域は 157 nm である。この波長帯域を設定波長 980 nm で割った値は約 0.160 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0055】

実施の形態10.

本発明の実施の形態10に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図17を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態9に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 908\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を 2.0% としている点で相違する。また、パラメータは $O = 1.15$ 、 $A = 1.82$ 、 $B = 1.97$ 、 $C = 2.06$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.645821$ 、 $\phi_2 = 1.452041$

とすることによって波長 908 nm で反射率 2.0% とすることができる。この場合、7 層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 117.31 \text{ nm} / 104.85 \text{ nm} / 185.66 \text{ nm} / 113.49 \text{ nm} / 200.96 \text{ nm} / 118.68 \text{ nm} / 210.14 \text{ nm}$ である。全体の膜厚 ($d_{total} = \sum d_i$) は 1051.09 nm である。それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、2014.81 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 ($= 245 \text{ nm}$) の約 8.22 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0056】

図 17 は、この 7 層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 7 層反射膜は、目標反射率の 3% 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 924 nm から 1037 nm にわたって反射率は 1.5% から 4.0% の範囲内に収まっている。また、設定波長 908 nm の設定反射率 2.0% を基準として、-1.0% から +2.0% の範囲、即ち、1.0% ~ 4.0% の範囲の連続した波長帯域は 145 nm である。この波長帯域を設定波長 908 nm で割った値は約 0.160 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 7 層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0057】

実施の形態 11.

本発明の実施の形態 11 に係る 7 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 18 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 9 に係る半導体光素子と比較すると、多層反射膜の構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 980 \text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を 3.0% としている点で相違する。また、パラメータは $O = 1.15$ 、 $A = 1.82$ 、 $B = 1.97$ 、 $C = 2.06$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.893399$ 、 $\phi_2 = 1.26984$ とすることによって波長 980 nm で反射

率 3.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 110.73 \text{ nm} / 156.55 \text{ nm} / 175.24 \text{ nm} / 169.45 \text{ nm} / 189.68 \text{ nm} / 177.19 \text{ nm} / 198.35 \text{ nm}$ である。全体の膜厚 ($d_{total} = \sum d_i$) は 1177.19 nm である。それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 2201.59 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 ($= 245 \text{ nm}$) の約 8.99 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0058】

図 18 は、この 7 層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 7 層反射膜は、目標反射率の約 4% 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 962 nm から 1053 nm にわたって反射率は 2.6% から 5.0% の範囲内に収まっている。また、設定波長 980 nm の設定反射率 3.0% を基準として、 -1.0% から $+2.0\%$ の範囲、即ち、 $2.0\% \sim 5.0\%$ の範囲の連続した波長帯域は 91 nm である。この波長帯域を設定波長 980 nm で割った値は約 0.093 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 7 層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0059】

実施の形態 12.

本発明の実施の形態 12 に係る 7 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 19 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 11 に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 913 \text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を 3.0% としている点で相違する。また、パラメータは $O = 1.15$ 、 $A = 1.82$ 、 $B = 1.97$ 、 $C = 2.06$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.893399$ 、 $\phi_2 = 1.26984$ とすることによって波長 953 nm で反射率 3.0% とすることができる。この場合、7 層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2$

$\text{Cd}1/\text{Cd}2 = 103.16 \text{ nm} / 145.85 \text{ nm} / 163.26 \text{ nm} /$
 $157.87 \text{ nm} / 176.72 \text{ nm} / 165.08 \text{ nm} / 184.79 \text{ nm}$ で
 ある。全体の膜厚 ($d_{\text{total}} = \sum d_i$) は 1096.73 nm である。それ
 ぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 2140
 $.93 \text{ nm}$ であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 ($= 245 \text{ nm}$) の約 $8.$
 74 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の
 上昇を抑制できる。

【0060】

図19は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフ
 の横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約
 4%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 962
 nm から 1053 nm にわたって反射率は 2.6% から 5.0% の範囲内に収ま
 っている。また、設定波長 953 nm の設定反射率 3.0% を基準として、 -1
 $.0\%$ から $+2.0\%$ の範囲、即ち、 $2.0\% \sim 5.0\%$ の範囲の連続した波長
 帯域は 89 nm である。この波長帯域を設定波長 953 nm で割った値は約 $0.$
 093 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この7
 層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわか
 る。

【0061】

実施の形態13.

本発明の実施の形態13に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図
 20を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態9に係る半導体光素子
 と比較すると、設定波長 $\lambda = 980 \text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を 4.0% として
 いる点で相違する。また、パラメータは $O = 1.09$ 、 $A = 1.80$ 、 $B = 1.$
 98 、 $C = 2.05$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タantalのそれぞれの
 の位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 は、 $\phi_1 = 0.922613$ 、 $\phi_2 = 1.26872$ と
 することによって波長 980 nm で反射率 4.0% とすることができる。この場
 合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 /$
 $C d_1 / C d_2 = 104.86 \text{ nm} / 159.89 \text{ nm} / 173.16 \text{ nm} / 1$

75.88 nm / 190.48 nm / 182.99 nm / 198.17 nm である。全体の膜厚 ($d_{total} = \sum d_i$) は 1185.43 nm である。それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、2211.73 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 (= 245 nm) の約 9.03 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制することができる。

【0062】

図 20 は、この 7 層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 7 層反射膜は、目標反射率の約 5 % 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、反射率は 3.7 % から 6.0 % の範囲内に収まっている。また、波長 980 nm の設定反射率 4.0 % を基準として、-1.0 % から +2.0 % の範囲、即ち、3.0 % ~ 6.0 % の範囲の連続した波長帯域は 190 nm である。この波長帯域を設定波長 980 nm で割った値は約 0.093 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 7 層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0063】

実施の形態 14.

本発明の実施の形態 14 に係る 7 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 21 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 13 に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 912$ nm で設定反射率 $R(\lambda)$ を 4.0 % としている点で相違する。また、パラメータは $O = 1.09$ 、 $A = 1.80$ 、 $B = 1.98$ 、 $C = 2.05$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タantalのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.922613$ 、 $\phi_2 = 1.26872$ とすることによって波長 912 nm で反射率 4.0 % とすることができる。この場合、7 層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 97.58$ nm / 148.80 nm / 161.15 nm / 163.68 nm / 177.26 nm / 170.29 nm / 184.42 nm である。全体の膜厚 ($d_{total} = \sum d_i$) は 1103.18 nm である。それぞ

れの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、2059.26 nmであり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 (= 245 nm) の約 8.41 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0064】

図 21 は、この 7 層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 7 層反射膜は、目標反射率の約 5 % 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 891 nm から 1069 nm にわたって反射率は 3.7 % から 6.0 % の範囲内に収まっている。また、設定波長 912 nm の設定反射率 4.0 % を基準として、-1.0 % から +2.0 % の範囲、即ち、3.0 % ~ 6.0 % の範囲の連続した波長帯域は 178 nm である。この波長帯域を設定波長 912 nm で割った値は約 0.195 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 7 層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0065】

実施の形態 15.

本発明の実施の形態 15 に係る 7 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 22 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 9 に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 912$ nm で設定反射率 $R(\lambda)$ を 4.0 % としている点で相違する。また、パラメータは $O = 1.13$ 、 $A = 1.76$ 、 $B = 1.98$ 、 $C = 2.06$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 1.0252$ 、 $\phi_2 = 1.18958$ とすることによって波長 980 nm で反射率 5.0 % とすることができる。この場合、7 層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 101.93$ nm / 173.72 nm / 158.75 nm / 195.44 nm / 178.60 nm / 203.33 nm / 185.81 nm である。全体の膜厚 ($d_{total} = \sum d_i$) は 1103.18 nm である。それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、2213.24

nmであり、所定波長980nmの $1/4$ 波長(=245nm)の約9.03倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0066】

図22は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約6%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、反射率は4.7%から7.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長980nmの設定反射率5.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、4.0%~7.0%の範囲の連続した波長帯域は190nmである。この波長帯域を設定波長980nmで割った値は約0.194であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0067】

実施の形態16.

本発明の実施の形態16に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図23を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態15に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 910\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を5.0%としている点で相違する。また、パラメータは $O = 1.13$ 、 $A = 1.76$ 、 $B = 1.98$ 、 $C = 2.06$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タantalのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 1.0252$ 、 $\phi_2 = 1.18958$ とすることによって波長910nmで反射率5.0%とすることができる。それに伴って、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 94.65\text{ nm} / 161.31\text{ nm} / 147.41\text{ nm} / 181.48\text{ nm} / 165.84\text{ nm} / 188.81\text{ nm} / 172.54\text{ nm}$ である。全体の膜厚($d_{\text{total}} = \sum d_i$)は1112.04nmである。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、2055.16nmであり、所定波長980nmの $1/4$ 波長(=245nm)の約8.39倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温

度の上昇を抑制できる。

【0068】

図23は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長891nmから1068nmにわたって反射率は4.7%から7.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長910nmの設定反射率5.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、4.0%~7.0%の範囲の連続した波長帯域は177nmである。この波長帯域を設定波長912nmで割った値は約0.195であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0069】

以下に、実施の形態1から実施の形態16に係る半導体光素子の多層反射膜の特性について、表1に示した。表1には、多層反射膜の特性として、多層反射膜の構成、設定波長 λ 及び設定反射率 $R(\lambda)$ 、極小反射率、 $\sum n_i d_i$ 及び所定波長980nmの1/4波長(245nm)との対比、 $R(\lambda)$ の-1.0~+2.0%の範囲となる波長帯域 $\Delta\lambda$ 、 $\Delta\lambda/\lambda$ について示した。

【0070】

【表 1】

表 1

実施の形態	多層反射膜の特性					
	多層反射膜の構成	設定波長 λ 設定反射率 $R(\lambda)$	極小反射率	$\Sigma n_i d_i$ 、 波長 980nm の 1/4 波長 (245nm) と の対比	$R(\lambda)$ の -1.0~2.0% となる波長 帯域 $\Delta\lambda$	$\Delta\lambda/\lambda$
1	7 層膜	980nm 2 %	1.3%	1590.57nm 6.49 倍	242nm	242/980= 0.246
2	7 層膜	879nm 2 %	1.3%	1426.66nm 5.82 倍	237nm	237/879= 0.270
3	7 層膜	980nm 3 %	2.5%	1330.83nm 5.43 倍	173nm	173/980= 0.177
4	7 層膜	1035nm 3 %	2.5%	1405.57nm 5.74 倍	183nm	183/1035= 0.177
5	7 層膜	980nm 4 %	3.5%	1323.92nm 5.40 倍	178nm	178/980= 0.182
6	7 層膜	1040nm 4 %	3.5%	1405.95nm 5.73 倍	189nm	189/1040= 0.182
7	7 層膜	980nm 5 %	4.6%	1391.41nm 5.38 倍	170nm	170/980= 0.173
8	7 層膜	1035nm 5 %	4.6%	1391.41nm 5.68 倍	170nm	170/1035= 0.164
9	7 層膜	980nm 2 %	1.5%	2174.63nm 8.88 倍	157nm	157/980= 0.160
10	7 層膜	908nm 2 %	1.5%	2014.81nm 8.22 倍	145nm	145/908= 0.160
11	7 層膜	980nm 3 %	2.6%	2201.59nm 8.99 倍	91nm	91/980= 0.093
12	7 層膜	953nm 3 %	2.6%	2140.93nm 8.74 倍	89nm	89/953= 0.093
13	7 層膜	980nm 4 %	3.7%	2211.73nm 9.03 倍	190nm	190/980= 0.194
14	7 層膜	912nm 4 %	3.7%	2059.26nm 8.41 倍	178nm	178/912= 0.195
15	7 層膜	980nm 5 %	4.7%	2213.24nm 9.03 倍	190nm	190/980= 0.194
16	7 層膜	910nm 5 %	4.7%	2055.16nm 8.39 倍	177nm	177/910= 0.195

【0071】

実施の形態 17.

本発明の実施の形態 17 に係る 6 層反射膜を備えた半導体光素子について図 2

4 及び図 25 を用いて説明する。図 24 は、半導体光素子の端面部の反射膜として、単層反射膜に代えて 6 層反射膜 40 を設けた場合の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子は、実施の形態 1 に係る半導体光素子と比較すると、多層反射膜が 6 層反射膜 40 で構成されている点で相違する。この 6 層反射膜 40 の反射率が所定波長で前記仮想単層膜の反射率と同一に設定する条件について検討する。6 層反射膜 40 の場合にも上記 7 層反射膜と同様に、振幅反射率は下記式 (13) で表される。

【数 16】

$$r = \frac{(m_{11} + m_{12})n_c - (m_{21} + m_{22})}{(m_{11} + m_{12})n_c + (m_{21} + m_{22})} \quad (13)$$

【0072】

ここで、 m_{ij} (i, j は 1 又は 2) は下記式 (14) で表される。

【数 17】

$$\begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos A\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin A\phi_1 \\ -in_1 \sin A\phi_1 & \cos A\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos A\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin A\phi_2 \\ -in_2 \sin A\phi_2 & \cos A\phi_2 \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} \cos B\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin B\phi_1 \\ -in_1 \sin B\phi_1 & \cos B\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos B\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin B\phi_2 \\ -in_2 \sin B\phi_2 & \cos B\phi_2 \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} \cos C\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin C\phi_1 \\ -in_1 \sin C\phi_1 & \cos C\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos C\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin C\phi_2 \\ -in_2 \sin C\phi_2 & \cos C\phi_2 \end{pmatrix} \quad (14)$$

なお、A、B、C は、第 1 層膜 31 の膜厚 Ad_1 、第 2 層膜 32 の膜厚 Ad_2 、第 3 層膜 33 の膜厚 Bd_1 、第 4 層膜 34 の膜厚 Bd_2 、第 5 層膜 35 の膜厚 Cd_1 、第 6 層膜 36 の膜厚 Cd_2 とした場合の、それぞれの 2 層膜 (ペア) の寄与率を表すパラメータである。

【0073】

以下、半導体光素子の端面部に 6 層反射膜 40 を設けた場合について説明する。図 24 は、端面部に設けた 6 層反射膜 40 の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子では、導波層 10 (等価屈折率 $n_c = 3.37$) の端面部に順に、酸化タングスタルの第 1 層膜 31 (屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚 Ad_1)、アル

ミナの第2層膜32（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚 Ad_2 ）、酸化タンタルの第3層膜33（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚 Bd_1 ）、アルミナの第4層膜34（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚 Bd_2 ）、酸化タンタルの第5層膜35（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚 Cd_1 ）、アルミナの第6層膜36（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚 Cd_2 ）が積層されている。さらに、この6層反射膜40は、空気等の自由空間5に接している。

【0074】

この半導体光素子の端面部の6層反射膜40の反射特性について説明する。まず、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を2%とする。各パラメータを、 $A = 2.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 が、それぞれ $\phi_1 = 0.792828$ 、 $\phi_2 = 0.715471$ である場合に反射率2%が得られる。この場合、6層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $Ad_1/Ad_2/Bd_1/Bd_2/Cd_1/Cd_2 = 120.23\text{ nm}/137.77\text{ nm}/120.23\text{ nm}/137.77\text{ nm}/120.23\text{ nm}/137.77\text{ nm}$ である。全体の膜厚（ $d_{total} = \sum d_i$ ）は774.0 nmである。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1411.50 nmであり、所定波長980 nmの1/4波長（ $= 245\text{ nm}$ ）の約5.76倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0075】

図25は、この6層反射膜40の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この6層反射膜は、目標反射率の3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長877 nmから1017 nmにわたって反射率は極小値の1.4%から4.0%の範囲内に収まっている。また、所定波長980 nmの反射率2.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、1.0%～4.0%の範囲の連続した波長帯域は140 nmである。この波長帯域を所定波長980 nmで割った値は約0.143であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有しているこ

とがわかる。

【0076】

実施の形態 18.

本発明の実施の形態 18 に係る 6 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 26 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 17 に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 1014 \text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を 2.0% としている点で相違する。また、パラメータは $A = 2.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タantalのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.792828$ 、 $\phi_2 = 0.715471$ とすることによって波長 1014 nm で反射率 2.0% とすることができる。この場合、7 層反射膜のそれぞれの膜厚は $A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 124.40 \text{ nm} / 142.55 \text{ nm} / 124.40 \text{ nm} / 142.55 \text{ nm} / 124.40 \text{ nm} / 142.55 \text{ nm}$ である。全体の膜厚 ($d_{\text{total}} = \sum d_i$) は 800.85 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 1460.47 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 ($= 245 \text{ nm}$) の約 5.96 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0077】

図 26 は、この 6 層反射膜 40 の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 6 層反射膜は、目標反射率の約 3% 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 907 nm から 1053 nm にわたって反射率は 1.4% から 4.0% の範囲内に収まっている。また、設定波長 1014 nm の設定反射率 2.0% を基準として、 -1.0% から $+2.0\%$ の範囲、即ち、 $1.0\% \sim 4.0\%$ の範囲の連続した波長帯域は 146 nm である。この波長帯域を設定波長 1014 nm で割った値は約 0.144 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 6 層反射膜 40 は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0078】

実施の形態 19.

本発明の実施の形態 19 に係る 6 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 27 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 17 に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 980 \text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を 3.0% としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.94$ 、 $B = 1.90$ 、 $C = 2.2$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タantalのそれぞれの位相変化 $\phi 1$ 及び $\phi 2$ を、 $\phi 1 = 0.948585$ 、 $\phi 2 = 0.476939$ とすることによって波長 980 nm で反射率 3.0% とすることができる。この場合、6 層反射膜のそれぞれの膜厚は $A d 1 / A d 2 / B d 1 / B d 2 / C d 1 / C d 2 = 139.54 \text{ nm} / 89.08 \text{ nm} / 136.66 \text{ nm} / 87.25 \text{ nm} / 158.24 \text{ nm} / 101.02 \text{ nm}$ である。全体の膜厚 ($d_{\text{total}} = \sum d_i$) は 711.79 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 1342.95 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 ($= 245 \text{ nm}$) の約 5.48 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0079】

図 26 は、この 6 層反射膜 40 の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 6 層反射膜は、目標反射率の約 4% 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 806 nm から 1009 nm にわたって反射率は 2.3% から 5.0% の範囲内に収まっている。また、設定波長 980 nm の設定反射率 3.0% を基準として、 -1.0% から $+2.0\%$ の範囲、即ち、 $2.0\% \sim 5.0\%$ の範囲の連続した波長帯域は 203 nm である。この波長帯域を設定波長 980 nm で割った値は約 0.207 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 6 層反射膜 40 は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0080】

実施の形態 20.

本発明の実施の形態 20 に係る 6 層反射膜を備えた半導体光素子について、図

28を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態19に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 1052\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を3.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.94$ 、 $B = 1.90$ 、 $C = 2.2$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タantalのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.948585$ 、 $\phi_2 = 0.476939$ とすることによって波長 1052 nm で反射率3.0%とすることができる。この場合、6層反射膜のそれぞれの膜厚は $Ad_1/Ad_2/Bd_1/Bd_2/Cd_1/Cd_2 = 150.64\text{ nm}/96.17\text{ nm}/147.54\text{ nm}/94.19\text{ nm}/170.83\text{ nm}/109.06\text{ nm}$ である。全体の膜厚($d_{total} = \sum d_i$)は 768.43 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 1449.81 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長($= 245\text{ nm}$)の約5.92倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0081】

図28は、この6層反射膜40の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この6層反射膜は、目標反射率の約4%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、反射率は2.3%から5.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長 1052 nm の設定反射率3.0%を基準として、 -1.0% から $+2.0\%$ の範囲、即ち、 $2.0\% \sim 5.0\%$ の範囲の連続した波長帯域は 218 nm である。この波長帯域を設定波長 1052 nm で割った値は約0.207であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この6層反射膜40は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0082】

実施の形態21.

本発明の実施の形態21に係る6層反射膜を備えた半導体光素子について、図29を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態17に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を4.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.94$ 、 $B = 1.90$ 、 $C = 2$

． 2 としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.98561$ 、 $\phi_2 = 0.417545$ とすることによって波長 980 nm で反射率 4.0% とすることができる。この場合、7 層反射膜のそれぞれの膜厚は $A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 144.98 \text{ nm} / 77.99 \text{ nm} / 141.99 \text{ nm} / 76.38 \text{ nm} / 164.41 \text{ nm} / 188.44 \text{ nm}$ である。全体の膜厚 ($d_{total} = \sum d_i$) は 794.19 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1483.84 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 ($= 245 \text{ nm}$) の約 6.06 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0083】

図 29 は、この 6 層反射膜 40 の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 6 層反射膜は、目標反射率の約 5% 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 791 nm から 1020 nm にわたって反射率は 3.3% から 6.0% の範囲内に収まっている。また、設定波長 980 nm の設定反射率 4.0% を基準として、-1.0% から +2.0% の範囲、即ち、3.0% ~ 6.0% の範囲の連続した波長帯域は 229 nm である。この波長帯域を設定波長 980 nm で割った値は約 0.234 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 6 層反射膜 40 は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0084】

実施の形態 22.

本発明の実施の形態 22 に係る 6 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 30 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 21 に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 1075 \text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を 4.0% としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.94$ 、 $B = 1.90$ 、 $C = 2.2$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.98561$ 、 $\phi_2 = 0.417545$ とすることによ

って波長 1075 nm で反射率 4.0% とすることができる。この場合、6 層反射膜のそれぞれの膜厚は $A d 1 / A d 2 / B d 1 / B d 2 / C d 1 / C d 2 = 159.04 \text{ nm} / 85.55 \text{ nm} / 155.76 \text{ nm} / 83.79 \text{ nm} / 180.35 \text{ nm} / 97.02 \text{ nm}$ である。全体の膜厚 ($d_{total} = \sum d_i$) は 761.51 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1450.03 nm であり、所定波長 980 nm の 1/4 波長 ($= 245 \text{ nm}$) の約 5.92 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0085】

図 30 は、この 6 層反射膜 40 の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 6 層反射膜は、目標反射率の約 5% 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 854 nm から 1105 nm にわたって反射率は 3.3% から 6.0% の範囲内に収まっている。また、設定波長 1075 nm の設定反射率 4.0% を基準として、-1.0% から +2.0% の範囲、即ち、3.0% ~ 6.0% の範囲の連続した波長帯域は 251 nm である。この波長帯域を設定波長 1075 nm で割った値は約 0.233 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 6 層反射膜 40 は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0086】

実施の形態 23.

本発明の実施の形態 23 に係る 6 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 31 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 17 に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 980 \text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を 5.0% としている点で相違する。また、パラメータは $A = 2.04$ 、 $B = 1.92$ 、 $C = 2.2$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 $\phi 1$ 及び $\phi 2$ を、 $\phi 1 = 0.93793$ 、 $\phi 2 = 0.433879$ とすることによって波長 980 nm で反射率 5.0% とすることができる。この場合、6 層反射膜のそれぞれの膜厚は $A d 1 / A d 2 / B d 1 / B d 2 / C d 1 / C d 2 = 114$

5.08 nm / 85.22 nm / 136.55 nm / 80.21 nm / 156.46 nm / 91.90 nm である。全体の膜厚 ($d_{total} = \sum d_i$) は 695.42 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1318.03 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 (= 245 nm) の約 5.38 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0087】

図 31 は、この 6 層反射膜 40 の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 6 層反射膜は、目標反射率の約 6 % 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 787 nm から 1009 nm にわたって反射率は 4.6 % から 7.0 % の範囲内に収まっている。また、設定波長 980 nm の設定反射率 5.0 % を基準として、-1.0 % から +2.0 % の範囲、即ち、4.0 % ~ 7.0 % の範囲の連続した波長帯域は 222 nm である。この波長帯域を設定波長 980 nm で割った値は約 0.227 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 6 層反射膜 40 は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0088】

実施の形態 24.

本発明の実施の形態 24 に係る 6 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 32 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 23 に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 1069$ nm で設定反射率 $R(\lambda)$ を 5.0 % としている点で相違する。また、パラメータは $A = 2.04$ 、 $B = 1.92$ 、 $C = 2.2$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.93793$ 、 $\phi_2 = 0.433879$ とすることによって波長 1069 nm で反射率 5.0 % とすることができる。この場合、6 層反射膜のそれぞれの膜厚は $A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 158.26$ nm / 92.96 nm / 148.95 nm / 87.49 nm / 170.67 nm / 100.25 nm である。全体の膜厚 ($d_{total} = \sum d_i$) は

758.58 nmである。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\Sigma n_i d_i$ は、1437.73 nmであり、所定波長980 nmの $1/4$ 波長(=245 nm)の約5.87倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0089】

図32は、この6層反射膜40の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この6層反射膜は、目標反射率の約6%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長858 nmから1101 nmにわたって反射率は4.6%から7.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長1069 nmの設定反射率5.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、4.0%~7.0%の範囲の連続した波長帯域は243 nmである。この波長帯域を設定波長1069 nmで割った値は約0.227であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この6層反射膜40は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0090】

以下に、実施の形態17から実施の形態24に係る半導体光素子の多層反射膜の特性について、表2に示した。表2には、多層反射膜の特性として、多層反射膜の構成、設定波長 λ 及び設定反射率 $R(\lambda)$ 、極小反射率、 $\Sigma n_i d_i$ 及び所定波長980 nmの $1/4$ 波長(245 nm)との対比、 $R(\lambda)$ の-1.0~+2.0%の範囲となる波長帯域 $\Delta\lambda$ 、 $\Delta\lambda/\lambda$ について示した。

【0091】

【表 2】

表 2

実施の形態	多層反射膜の特性					
	多層反射膜の構成	設定波長 λ 設定反射率 $R(\lambda)$	極小反射率	$\sum n_i d_i$ 、 波長 980nm の 1/4 波長 (245nm) と の対比	$R(\lambda)$ の -1.0~2.0% となる波長 帯域 $\Delta\lambda$	$\Delta\lambda/\lambda$
17	6 層膜	980nm 2 %	1.4%	1411.50nm 5.76 倍	140nm	140/980= 0.143
18	6 層膜	1014nm 2 %	1.4%	1460.47nm 5.96 倍	146nm	146/1014= 0.144
19	6 層膜	980nm 3 %	2.3%	1342.95nm 5.48 倍	203nm	203/980= 0.207
20	6 層膜	1014nm 3 %	2.3%	1449.81nm 5.92 倍	218nm	218/1014= 0.207
21	6 層膜	980nm 4 %	3.3%	1483.84nm 6.06 倍	229nm	229/980= 0.234
22	6 層膜	1075nm 4 %	3.3%	1450.03nm 5.92 倍	251nm	251/1075= 0.233
23	6 層膜	980nm 5 %	4.6%	1318.03nm 5.38 倍	222nm	222/980= 0.227
24	6 層膜	1069nm 5 %	4.6%	1437.73nm 5.87 倍	243nm	243/1069= 0.164

【0092】

実施の形態 25.

本発明の実施の形態 25 に係る 3 種類の膜を含む 7 層反射膜を備えた半導体光素子について図 33 及び図 34 を用いて説明する。図 33 は、半導体光素子の端面部の反射膜として、単層反射膜に代えて 3 種類の膜からなる 7 層反射膜 50 を設けた場合の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子は、実施の形態 1 に係る半導体光素子と比較すると、多層反射膜が 3 種類の膜からなる 7 層反射膜 50 で構成されている点で相違する。さらに詳細には、導波層 10 に接する第 1 層膜が窒化アルミニウム膜 41 である点で相違する。なお、第 2 層膜から第 7 層膜にかけては酸化タンタル及びアルミナが交互に積層されている点で共通する。

【0093】

この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率が所定波長で上記仮想単層膜の反射率と同一に設定する条件について検討する。ここでは、導波層10に接する第1層膜に第3の種類の膜を用いた場合について検討する。この第3の膜の位相変化 ϕ_3 は、下記式(15)で表される。

【数18】

$$\phi_3 = \frac{2\pi}{\lambda} n_3 d_3 \quad (15)$$

【0094】

そこで、この3種類の膜からなる7層反射膜50の振幅反射率は、上記7層反射膜、6層反射膜と同様に下記式(16)で表される。

【数19】

$$r = \frac{(m_{11} + m_{12})n_c - (m_{21} + m_{22})}{(m_{11} + m_{12})n_c + (m_{21} + m_{22})} \quad (16)$$

【0095】

ここで、 m_{ij} (i, j は1又は2)は下記式(17)で表される。

【数20】

$$\begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_3 & -\frac{i}{n_3} \sin \phi_3 \\ -in_3 \sin \phi_3 & \cos \phi_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos A\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin A\phi_1 \\ -in_1 \sin A\phi_1 & \cos A\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos A\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin A\phi_2 \\ -in_2 \sin A\phi_2 & \cos A\phi_2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos B\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin B\phi_1 \\ -in_1 \sin B\phi_1 & \cos B\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos B\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin B\phi_2 \\ -in_2 \sin B\phi_2 & \cos B\phi_2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos C\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin C\phi_1 \\ -in_1 \sin C\phi_1 & \cos C\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos C\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin C\phi_2 \\ -in_2 \sin C\phi_2 & \cos C\phi_2 \end{pmatrix} \quad (17)$$

なお、A, B, Cは、第2層膜42の膜厚Ad1、第3層膜43の膜厚Ad2、第4層膜44の膜厚Bd1、第5層膜45の膜厚Bd2、第6層膜46の膜厚Cd1、第7層膜47の膜厚Cd2とした場合の、それぞれの2層膜(ペア)の寄与率を表すパラメータである。

【0096】

以下、半導体光素子の端面部に3種類の膜を含む7層反射膜50を設けた場合について説明する。図33は、端面部に設けた3種類の膜を含む7層反射膜の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子では、導波層10（等価屈折率 $n_c = 3.37$ ）の端面部に順に、窒化アルミニウム（AlN）の第1層膜41（屈折率 $n_3 = 2.072$ 、膜厚 $d_3 = 50 \text{ nm}$ ）、酸化タンタルの第2層膜42（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚 $A d_1$ ）、アルミナの第3層膜43（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚 $A d_2$ ）、酸化タンタルの第4層膜44（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚 $B d_1$ ）、アルミナの第5層膜45（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚 $B d_2$ ）、酸化タンタルの第6層膜46（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚 $C d_1$ ）、アルミナの第7層膜47（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚 $C d_2$ ）が積層されている。さらに、この7層反射膜50は、空気等の自由空間5に接している。

【0097】

まず、窒化アルミニウム、酸化タンタル、アルミナの3種類の膜を含む7層反射膜の熱特性について説明する。この3種類の膜の熱伝導率は、順に、約 $1.8 \text{ W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ 、約 $0.1 \text{ W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ 、約 $0.2 \text{ W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ なので、窒化アルミニウムが最も熱伝導率が高い。このため導波層10の熱を迅速に外部に放熱させることができる。

【0098】

次に、この半導体光素子の端面部の3種類の膜を含む7層反射膜50の反射特性について説明する。まず、設定波長 $\lambda = 980 \text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を2.0%とする。各パラメータを、 $A = 1.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 が、それぞれ $\phi_1 = 1.23574$ 、 $\phi_2 = 0.727856$ である場合に波長 980 nm で反射率2%が得られる。なお、窒化アルミニウムの第1層膜41の厚み d_3 は予め 50 nm として、 ϕ_3 は既知の定数として用い、変数には ϕ_1 及び ϕ_2 のみを用いた。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $d_3/A d_1/A d_2/B d_1/B d_2/C d_1/C d_2 = 50 \text{ nm}/93.7 \text{ nm}/70.08 \text{ nm}/187.40 \text{ nm}/140.15 \text{ nm}/187.40 \text{ nm}/140.15 \text{ nm}$ である。全体の

膜厚 ($d_{total} = \sum d_i$) は 868.88 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1634.92 nm であり、 $\lambda/4$ ($= 245$ nm) の約 6.67 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0099】

図 34 は、この 3 種類の膜を含む 7 層反射膜 50 の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 7 層反射膜は、目標反射率の 3 % 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 952 nm から 1194 nm にわたって反射率は極小値の 1.6 % から 4.0 % の範囲内に収まっている。また、所定波長 980 nm の反射率 2.0 % を基準として、-1.0 % から +2.0 % の範囲、即ち、1.0 % ~ 4.0 % の範囲の連続した波長帯域は 242 nm である。この波長帯域を所定波長 980 nm で割った値は約 0.247 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 7 層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0100】

実施の形態 26.

本発明の実施の形態 26 に係る 3 種類の膜を含む 7 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 35 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 25 と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 897$ nm で設定反射率 $R(\lambda)$ を 2.0 % としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 1.23574$ 、 $\phi_2 = 0.727856$ とすることによって波長 897 nm で反射率 2.0 % とすることができる。この場合、7 層反射膜のそれぞれの膜厚は、 d_3/A d_1/A d_2/B d_1/B d_2/C d_1/C $d_2 = 50/83.26$ nm $/65.10$ nm $/166.52$ nm $/130.20$ nm $/166.52$ nm $/130.20$ nm である。全体の膜厚 ($d_{total} = \sum d_i$) は 791.8 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1487.24 nm

mであり、所定波長980 nmの1/4波長(=245 nm)の約6.07倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0101】

図35は、この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長872 nmから1086 nmにわたって反射率は1.5%から4.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長897 nmの設定反射率2.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、1.0%~4.0%の範囲の連続した波長帯域は214 nmである。この波長帯域を設定波長897 nmで割った値は約0.239であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜50は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0102】

実施の形態27.

本発明の実施の形態27に係る3種類の膜を含む7層反射膜を備えた半導体光素子について、図36を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態25と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 980$ nmで設定反射率 $R(\lambda)$ を3.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タantalのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 1.20275$ 、 $\phi_2 = 0.765599$ とすることによって波長980 nmで反射率3.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 d_3/A d_1/A d_2/B d_1/B d_2/C d_1/C $d_2 = 50/91.20$ nm/73.71 nm/182.40 nm/147.42 nm/182.40 nm/147.42 nmである。全体の膜厚($d_{total} = \sum d_i$)は874.55 nmである。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1638.64 nmであり、所定波長980 nmの1/4波長(=245 nm)の約6.69倍

と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0103】

図36は、この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約4%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長953nmから1195nmにわたって反射率は2.6%から5.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長980nmの設定反射率3.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、2.0%~5.0%の範囲の連続した波長帯域は242nmである。この波長帯域を設定波長980nmで割った値は約0.247であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜50は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0104】

実施の形態28.

本発明の実施の形態28に係る3種類の膜を含む7層反射膜を備えた半導体光素子について、図37を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態27と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 896\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を3.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タantalのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 1.23574$ 、 $\phi_2 = 0.727856$ とすることによって波長896nmで反射率3.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $d_3/A d_1/A d_2/B d_1/B d_2/C d_1/C d_2 = 50/81.08\text{ nm}/68.15\text{ nm}/162.16\text{ nm}/136.31\text{ nm}/162.16\text{ nm}/136.31\text{ nm}$ である。全体の膜厚($d_{total} = \sum d_i$)は796.17nmである。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1489.56nmであり、所定波長980nmの1/4波長(=245nm)の約6.08倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を

抑制できる。

【0105】

図37は、この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約4%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長872nmから1089nmにわたって反射率は2.5%から5.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長896nmの設定反射率3.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、2.0%~5.0%の範囲の連続した波長帯域は217nmである。この波長帯域を設定波長896nmで割った値は約0.242であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜50は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0106】

実施の形態29.

本発明の実施の形態29に係る3種類の膜を含む7層反射膜を備えた半導体光素子について、図38を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態25と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を4.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タantalのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 1.17459$ 、 $\phi_2 = 0.798874$ とすることによって波長980nmで反射率4.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 d_3/A d_1/A d_2/B d_1/B d_2/C d_1/C $d_2 = 50/89.06\text{ nm}/76.91\text{ nm}/178.13\text{ nm}/153.83\text{ nm}/178.13\text{ nm}/153.83\text{ nm}$ である。全体の膜厚($d_{total} = \sum d_i$)は879.89nmである。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1642.63nmであり、所定波長980nmの1/4波長(=245nm)の約6.70倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0107】

図38は、この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長953nmから1198nmにわたって反射率は3.6%から6.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長980nmの設定反射率4.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、3.0%~6.0%の範囲の連続した波長帯域は245nmである。この波長帯域を設定波長980nmで割った値は約0.250であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜50は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0108】

実施の形態30.

本発明の実施の形態30に係る3種類の膜を含む7層反射膜を備えた半導体光素子について、図39を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態29に係る半導体光素子と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 893\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を4.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 1.14262$ 、 $\phi_2 = 0.805876$ とすることによって波長893nmで反射率4.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $d_3/A d_1/A d_2/B d_1/B d_2/C d_1/C d_2 = 50/78.95\text{ nm}/70.70\text{ nm}/157.90\text{ nm}/141.40\text{ nm}/157.90\text{ nm}/141.40\text{ nm}$ である。全体の膜厚($d_{\text{total}} = \sum d_i$)は798.25nmである。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1488.27nmであり、所定波長980nmの1/4波長(=245nm)の約6.07倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0109】

図 39 は、この 3 種類の膜を含む 7 層反射膜 50 の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 7 層反射膜は、目標反射率の約 5 % 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 870 nm から 1090 nm にわたって反射率は 3.4 % から 6.0 % の範囲内に収まっている。また、設定波長 893 nm の設定反射率 4.0 % を基準として、-1.0 % から +2.0 % の範囲、即ち、3.0 % ~ 6.0 % の範囲の連続した波長帯域は 220 nm である。この波長帯域を設定波長 893 nm で割った値は約 0.246 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 7 層反射膜 50 は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0110】

実施の形態 31.

本発明の実施の形態 31 に係る 3 種類の膜を含む 7 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 40 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 25 と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 980 \text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を 5.0 % としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タantalのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 1.14888$ 、 $\phi_2 = 0.829916$ とすることによって波長 980 nm で反射率 5.0 % とすることができる。この場合、7 層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $d_3/A d_1/A d_2/B d_1/B d_2/C d_1/C d_2 = 50/87.11 \text{ nm}/79.90 \text{ nm}/174.23 \text{ nm}/159.81 \text{ nm}/174.23 \text{ nm}/159.81 \text{ nm}$ である。全体の膜厚 ($d_{\text{total}} = \sum d_i$) は 885.09 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1646.79 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 ($= 245 \text{ nm}$) の約 6.72 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0111】

図 40 は、この 3 種類の膜を含む 7 層反射膜 50 の反射率の波長依存性を示す

グラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約6%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長952nmから1201nmにわたって反射率は4.6%から7.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長980nmの設定反射率5.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、4.0%~7.0%の範囲の連続した波長帯域は249nmである。この波長帯域を設定波長980nmで割った値は約0.254であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜50は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0112】

実施の形態32.

本発明の実施の形態32に係る3種類の膜を含む7層反射膜を備えた半導体光素子について、図41を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態31と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 890\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を5.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タantalのそれぞれの位相変化 $\phi 1$ 及び $\phi 2$ を、 $\phi 1 = 1.11792$ 、 $\phi 2 = 0.835299$ とすることによって波長890nmで反射率5.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $d 3 / A d 1 / A d 2 / B d 1 / B d 2 / C d 1 / C d 2 = 50 / 76.98\text{ nm} / 73.04\text{ nm} / 153.96\text{ nm} / 146.07\text{ nm} / 153.96\text{ nm} / 146.07\text{ nm}$ である。全体の膜厚($d_{total} = \sum d_i$)は800.08nmである。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1486.93nmであり、所定波長980nmの $1/4$ 波長(=245nm)の約6.07倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0113】

図41は、この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射

膜は、目標反射率の約 6 % 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 8 6 7 nm から 1 0 9 3 nm にわたって反射率は 4 . 4 % から 7 . 0 % の範囲内に収まっている。また、設定波長 8 9 0 nm の設定反射率 5 . 0 % を基準として、- 1 . 0 % から + 2 . 0 % の範囲、即ち、4 . 0 % ~ 7 . 0 % の範囲の連続した波長帯域は 2 2 6 nm である。この波長帯域を設定波長 8 9 0 nm で割った値は約 0 . 2 5 4 であり、仮想単層反射膜の場合の 0 . 0 6 1 より大きい。そこで、この 7 層反射膜 5 0 は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【 0 1 1 4 】

以下に、実施の形態 2 5 から実施の形態 3 2 に係る半導体光素子の多層反射膜の特性について、表 3 に示した。表 3 には、多層反射膜の特性として、多層反射膜の構成、設定波長 λ 及び設定反射率 $R(\lambda)$ 、極小反射率、 $\sum n_i d_i$ 及び所定波長 9 8 0 nm の $1/4$ 波長 (2 4 5 nm) との対比、 $R(\lambda)$ の - 1 . 0 ~ + 2 . 0 % の範囲となる波長帯域 $\Delta \lambda$ 、 $\Delta \lambda / \lambda$ について示した。

【 0 1 1 5 】

【表 3】

表 3

多層反射膜の特性						
実施の形態	多層反射膜の構成	設定波長 λ 設定反射率 $R(\lambda)$	極小反射率	$\sum n_i d_i$ 、 波長 980nm の 1/4 波長 (245nm) と の対比	$R(\lambda)$ の -1.0~2.0% となる波長 帯域 $\Delta\lambda$	$\Delta\lambda/\lambda$
25	7 層膜 (3 種類)	980nm 2 %	1.6%	1634.92nm 6.67 倍	242nm	242/980= 0.247
26	7 層膜 (3 種類)	897nm 2 %	1.5%	1487.24nm 6.07 倍	214nm	214/897= 0.239
27	7 層膜 (3 種類)	980nm 3 %	2.6%	1638.64nm 6.69 倍	242nm	242/980= 0.247
28	7 層膜 (3 種類)	896nm 3 %	2.5%	1489.56nm 6.08 倍	217nm	217/896= 0.242
29	7 層膜 (3 種類)	980nm 4 %	3.6%	1642.63nm 6.70 倍	245nm	245/980= 0.250
30	7 層膜 (3 種類)	893nm 4 %	3.4%	1488.27nm 6.07 倍	220nm	220/893= 0.246
31	7 層膜 (3 種類)	980nm 5 %	4.6%	1646.79nm 6.72 倍	249nm	249/980= 0.254
32	7 層膜 (3 種類)	890nm 5 %	4.4%	1486.93nm 6.07 倍	226nm	226/890= 0.254

【0116】

実施の形態 33.

本発明の実施の形態 33 に係る 9 層反射膜を備えた半導体光素子について図 4 2 及び 4 3 を用いて説明する。図 4 2 は、半導体光素子の端面部の反射膜として、単層反射膜に代えて 9 層反射膜 60 を設けた場合の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子は、実施の形態 1 に係る半導体光素子と比較すると、多層反射膜が 9 層反射膜 60 で構成されている点で相違する。この 9 層反射膜 60 の反射率が所定波長で前記仮想単層膜の反射率と同一にする条件について検討する。9 層反射膜 60 の振幅反射率は、上記 4 層反射膜及び 7 層反射膜と同様に下記式 (18) で表される。

【数 21】

$$r = \frac{(m_{11} + m_{12})n_c - (m_{21} + m_{22})}{(m_{11} + m_{12})n_c + (m_{21} + m_{22})} \quad (18)$$

【0117】

ここで、 m_{ij} (i, j は 1 又は 2) は下記式 (19) で表される。

【数 2 2】

$$\begin{aligned}
 \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \cos O\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin O\phi_2 \\ -in_2 \sin O\phi_2 & \cos O\phi_2 \end{pmatrix} \\
 &\times \begin{pmatrix} \cos A\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin A\phi_1 \\ -in_1 \sin A\phi_1 & \cos A\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos A\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin A\phi_2 \\ -in_2 \sin A\phi_2 & \cos A\phi_2 \end{pmatrix} \\
 &\times \begin{pmatrix} \cos B\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin B\phi_1 \\ -in_1 \sin B\phi_1 & \cos B\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos B\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin B\phi_2 \\ -in_2 \sin B\phi_2 & \cos B\phi_2 \end{pmatrix} \\
 &\times \begin{pmatrix} \cos C\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin C\phi_1 \\ -in_1 \sin C\phi_1 & \cos C\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos C\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin C\phi_2 \\ -in_2 \sin C\phi_2 & \cos C\phi_2 \end{pmatrix} \\
 &\times \begin{pmatrix} \cos D\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin D\phi_1 \\ -in_1 \sin D\phi_1 & \cos D\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos D\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin D\phi_2 \\ -in_2 \sin D\phi_2 & \cos D\phi_2 \end{pmatrix} \quad (19)
 \end{aligned}$$

なお、O, A, B, C, Dは、第1層膜51の膜厚Od2、第2層膜52の膜厚Ad1、第3層膜63の膜厚Ad2、第4層膜54の膜厚Bd1、第5層膜55の膜厚Bd2、第6層膜56の膜厚Cd1、第7層膜57の膜厚Cd2、第8層膜58の膜厚Dd1、第9層膜59の膜厚Dd2において、第1層膜31を除き、それぞれの2層膜（ペア）の寄与率を表すパラメータである。

【0118】

以下、半導体光素子の端面部に9層反射膜60を設けた場合について説明する。図42は、端面部に設けた9層反射膜の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子では、導波層10（等価屈折率 $n_c = 3.37$ ）の端面部に順に、アルミナの第1層膜51（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚Od2）、酸化タantalの第2層膜52（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚Ad1）、アルミナの第3層膜53（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚Ad2）、酸化タantalの第4層膜54（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚Bd1）、アルミナの第5層膜55（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚Bd2）、酸化タantalの第6層膜56（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚Cd1）、アルミナの第7層膜57（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚Cd2

)、酸化タンタルの第6層膜56 (屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚 $Cd1$)、アルミナの第7層膜57 (屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚 $Cd2$)、酸化タンタルの第8層膜58 (屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚 $Cd1$)、アルミナの第9層膜59 (屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚 $Cd2$)が積層されている。さらに、この9層反射膜60は、空気等の自由空間5に接している。

【0119】

この半導体光素子の端面部の9層反射膜60の反射特性について説明する。まず、設定波長 $\lambda = 980 \text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を2%とする。各パラメータを、 $O = 0.2$ 、 $A = 2.7$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ 、 $D = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 が、それぞれ $\phi_1 = 0.35769$ 、 $\phi_2 = 0.958077$ である場合に波長 980 nm で反射率2%が得られる。この場合、9層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $Od2 / Ad1 / Ad2 / Bd1 / Bd2 / Cd1 / Cd2 / Dd1 / Dd2 = 18.45 \text{ nm} / 73.23 \text{ nm} / 249.06 \text{ nm} / 54.24 \text{ nm} / 184.49 \text{ nm} / 54.24 \text{ nm} / 184.49 \text{ nm} / 54.24 \text{ nm} / 184.49 \text{ nm}$ である。全体の膜厚($d_{total} = \sum d_i$)は 1056.93 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 1815.34 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長($= 245 \text{ nm}$)の約7.41倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0120】

図43は、この9層反射膜60の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この9層反射膜は、目標反射率の3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 877 nm から 1007 nm にわたって反射率は極小値の1.6%から4.0%の範囲内に収まっている。また、所定波長 980 nm の反射率2.0%を基準として、 -1.0% から $+2.0\%$ の範囲、即ち、 $1.0\% \sim 4.0\%$ の範囲の連続した波長帯域は 130 nm である。この波長帯域を所定波長 980 nm で割った値は約0.133であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで

、この9層反射膜60は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0121】

実施の形態34.

本発明の実施の形態34に係る9層反射膜を備えた半導体光素子について、図44を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態33と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 1020\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を2.0%としている点で相違する。また、パラメータは $O = 0.2$ 、 $A = 2.7$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ 、 $D = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タantalのそれぞれの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 を、 $\phi_1 = 0.35769$ 、 $\phi_2 = 0.958077$ とすることによって波長 1020 nm で反射率2.0%とすることができる。この場合、9層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 / D d_1 / D d_2 = 19.20\text{ nm} / 76.22\text{ nm} / 259.22\text{ nm} / 56.46\text{ nm} / 192.02\text{ nm} / 56.46\text{ nm} / 192.02\text{ nm} / 56.46\text{ nm} / 192.02\text{ nm}$ である。全体の膜厚($d_{total} = \sum d_i$)は 1100.08 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 1889.46 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長($= 245\text{ nm}$)の約7.71倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0122】

図44は、この9層反射膜60の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この9層反射膜は、目標反射率の約3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 912 nm から 1048 nm にわたって反射率は1.6%から4.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長 1020 nm の設定反射率2.0%を基準として、 -1.0% から $+2.0\%$ の範囲、即ち、 $1.0\% \sim 4.0\%$ の範囲の連続した波長帯域は 136 nm である。この波長帯域を設定波長 1020 nm で割った値は約0.133であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこ

で、この 9 層反射膜 60 は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0123】

実施の形態 35.

本発明の実施の形態 35 に係る 9 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 45 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 33 に係る半導体光素子と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 980 \text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を 3.0% としている点で相違する。また、各パラメータを、 $O = 0.2$ 、 $A = 2.7$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ 、 $D = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 が、それぞれ $\phi_1 = 0.377348$ 、 $\phi_2 = 0.935416$ である場合に波長 980 nm で反射率 3% が得られる。この場合、9 層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 / D d_1 / D d_2 = 18.01 \text{ nm} / 77.25 \text{ nm} / 243.16 \text{ nm} / 57.22 \text{ nm} / 180.12 \text{ nm} / 57.22 \text{ nm} / 180.12 \text{ nm} / 57.22 \text{ nm} / 180.12 \text{ nm}$ である。全体の膜厚 ($d_{\text{total}} = \sum d_i$) は 1050.44 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1810.49 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 ($= 245 \text{ nm}$) の約 7.49 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0124】

図 45 は、この 9 層反射膜 60 の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 9 層反射膜は、目標反射率の 4% 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 882 nm から 1007 nm にわたって反射率は極小値の 2.6% から 5.0% の範囲内に収まっている。また、所定波長 980 nm の反射率 3.0% を基準として、-1.0% から +2.0% の範囲、即ち、2.0% ~ 5.0% の範囲の連続した波長帯域は 125 nm である。この波長帯域を所定波長 980 nm で割った値は約 0.128 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで

、この9層反射膜60は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0125】

実施の形態36.

本発明の実施の形態36に係る9層反射膜を備えた半導体光素子について、図46を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態35に係る半導体光素子と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 1017\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を3.0%としている点で相違する。また、各パラメータを、 $O = 0.2$ 、 $A = 2.7$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ 、 $D = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 が、それぞれ $\phi_1 = 0.377348$ 、 $\phi_2 = 0.935416$ である場合に波長 1017 nm で反射率3%が得られる。この場合、9層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 / D d_1 / D d_2 = 18.69\text{ nm} / 80.17\text{ nm} / 252.35\text{ nm} / 59.39\text{ nm} / 186.92\text{ nm} / 59.39\text{ nm} / 186.92\text{ nm} / 59.39\text{ nm} / 186.92\text{ nm}$ である。全体の膜厚($d_{total} = \sum d_i$)は 1090.14 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 1878.92 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長($= 245\text{ nm}$)の約7.67倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0126】

図46は、この9層反射膜60の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この9層反射膜は、目標反射率の4%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 915 nm から 1045 nm にわたって反射率は極小値の2.6%から5.0%の範囲内に収まっている。また、所定波長 1017 nm の反射率3.0%を基準として、 -1.0% から $+2.0\%$ の範囲、即ち、 $2.0\% \sim 5.0\%$ の範囲の連続した波長帯域は 130 nm である。この波長帯域を所定波長 1017 nm で割った値は約0.128であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そ

ここで、この 9 層反射膜 60 は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0127】

実施の形態 37.

本発明の実施の形態 37 に係る 9 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 47 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 33 に係る半導体光素子と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 980 \text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を 4.0% としている点で相違する。また、各パラメータを、 $O = 0.15$ 、 $A = 2.8$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ 、 $D = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 が、それぞれ $\phi_1 = 0.38725$ 、 $\phi_2 = 0.911369$ である場合に波長 980 nm で反射率 4% が得られる。この場合、9 層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 / D d_1 / D d_2 = 13.16 \text{ nm} / 82.22 \text{ nm} / 245.69 \text{ nm} / 58.73 \text{ nm} / 175.49 \text{ nm} / 58.73 \text{ nm} / 175.49 \text{ nm} / 58.73 \text{ nm} / 175.49 \text{ nm}$ である。全体の膜厚 ($d_{\text{total}} = \sum d_i$) は 1043.73 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1803.77 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 ($= 245 \text{ nm}$) の約 7.36 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0128】

図 47 は、この 9 層反射膜 60 の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 9 層反射膜は、目標反射率の 5% 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 883 nm から 1006 nm にわたって反射率は極小値の 3.6% から 6.0% の範囲内に収まっている。また、所定波長 980 nm の反射率 4.0% を基準として、 -1.0% から $+2.0\%$ の範囲、即ち、 $3.0\% \sim 6.0\%$ の範囲の連続した波長帯域は 123 nm である。この波長帯域を所定波長 980 nm で割った値は約 0.126 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで

、この9層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0129】

実施の形態38.

本発明の実施の形態38に係る9層反射膜を備えた半導体光素子について、図48を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態37に係る半導体光素子と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 1017\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を4.0%としている点で相違する。また、各パラメータを、 $O = 0.15$ 、 $A = 2.8$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ 、 $D = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 が、それぞれ $\phi_1 = 0.38725$ 、 $\phi_2 = 0.911369$ である場合に波長 1017 nm で反射率4%が得られる。この場合、9層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 / D d_1 / D d_2 = 13.66\text{ nm} / 85.32\text{ nm} / 245.96\text{ nm} / 60.94\text{ nm} / 182.12\text{ nm} / 60.94\text{ nm} / 182.12\text{ nm} / 60.94\text{ nm} / 182.12\text{ nm}$ である。全体の膜厚($d_{\text{total}} = \sum d_i$)は 1083.12 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 1871.83 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長($= 245\text{ nm}$)の約7.64倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0130】

図48は、この9層反射膜60の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この9層反射膜は、目標反射率の5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 916 nm から 1044 nm にわたって反射率は極小値の3.6%から6.0%の範囲内に収まっている。また、所定波長 1017 nm の反射率4.0%を基準として、 -1.0% から $+2.0\%$ の範囲、即ち、 $3.0\% \sim 6.0\%$ の範囲の連続した波長帯域は 128 nm である。この波長帯域を所定波長 1017 nm で割った値は約0.126であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そ

こで、この 9 層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0131】

実施の形態 39.

本発明の実施の形態 39 に係る 9 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 49 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 33 に係る半導体光素子と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 980 \text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を 5.0% としている点で相違する。また、各パラメータを、 $O = 0.10$ 、 $A = 2.9$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ 、 $D = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 が、それぞれ $\phi_1 = 0.397519$ 、 $\phi_2 = 0.886992$ である場合に波長 980 nm で反射率 5% が得られる。この場合、9 層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 / D d_1 / D d_2 = 8.54 \text{ nm} / 87.41 \text{ nm} / 247.66 \text{ nm} / 60.28 \text{ nm} / 170.80 \text{ nm} / 60.28 \text{ nm} / 170.80 \text{ nm} / 60.28 \text{ nm} / 170.80 \text{ nm}$ である。全体の膜厚 ($d_{\text{total}} = \sum d_i$) は 1036.85 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1801.04 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長 ($= 245 \text{ nm}$) の約 7.35 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0132】

図 49 は、この 9 層反射膜 60 の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 9 層反射膜は、目標反射率の約 6% 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 890 nm から 1006 nm にわたって反射率は極小値の 4.6% から 7.0% の範囲内に収まっている。また、所定波長 980 nm の反射率 5.0% を基準として、-1.0% から +2.0% の範囲、即ち、4.0% ~ 7.0% の範囲の連続した波長帯域は 116 nm である。この波長帯域を所定波長 980 nm で割った値は約 0.118 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこ

で、この9層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0133】

実施の形態40.

本発明の実施の形態40に係る9層反射膜を備えた半導体光素子について、図50を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態39に係る半導体光素子と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 1013\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を5.0%としている点で相違する。また、各パラメータを、 $O = 0.10$ 、 $A = 2.9$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ 、 $D = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 ϕ_1 及び ϕ_2 が、それぞれ $\phi_1 = 0.397519$ 、 $\phi_2 = 0.886992$ である場合に波長 1013 nm で反射率5%が得られる。この場合、9層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 / D d_1 / D d_2 = 8.83\text{ nm} / 90.35\text{ nm} / 256.00\text{ nm} / 62.31\text{ nm} / 176.55\text{ nm} / 62.31\text{ nm} / 176.55\text{ nm} / 62.31\text{ nm} / 176.55\text{ nm}$ である。全体の膜厚($d_{total} = \sum d_i$)は 1071.76 nm である。また、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 1857.42 nm であり、所定波長 980 nm の $1/4$ 波長($= 245\text{ nm}$)の約7.58倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

【0134】

図50は、この9層反射膜60の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この9層反射膜は、目標反射率の6%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 920 nm から 1040 nm にわたって反射率は極小値の4.6%から7.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長 1013 nm の反射率5.0%を基準として、 -1.0% から $+2.0\%$ の範囲、即ち、 $4.0\% \sim 7.0\%$ の範囲の連続した波長帯域 $\Delta\lambda$ は 120 nm である。この波長帯域を設定波長 $\lambda = 1013\text{ nm}$ で割った値は約0.118であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大

きい。そこで、この9層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

【0135】

以下に、実施の形態33から実施の形態40に係る半導体光素子の多層反射膜の特性について、表4に示した。表4には、多層反射膜の特性として、多層反射膜の構成、設定波長 λ 及び設定反射率 $R(\lambda)$ 、極小反射率、 $\Sigma n_i d_i$ 及び所定波長980nmの1/4波長(245nm)との対比、 $R(\lambda)$ の-1.0～+2.0%の範囲となる波長帯域 $\Delta\lambda$ 、 $\Delta\lambda/\lambda$ について示した。

【0136】

【表4】

表4

多層反射膜の特性						
実施の形態	多層反射膜の構成	設定波長 λ 設定反射率 $R(\lambda)$	極小反射率	$\Sigma n_i d_i$ 、 波長980nm の1/4波長 (245nm)との 対比	$R(\lambda)$ の -1.0～2.0% となる波長 帯域 $\Delta\lambda$	$\Delta\lambda/\lambda$
33	9層膜	980nm 2%	1.4%	1815.34nm 7.41倍	130nm	130/980= 0.133
34	9層膜	1020nm 2%	1.4%	1889.46nm 7.71倍	136nm	136/1020= 0.133
35	9層膜	980nm 3%	2.6%	1810.49nm 7.49倍	125nm	125/980= 0.128
36	9層膜	1017nm 3%	2.6%	1878.92nm 7.67倍	130nm	130/1017= 0.128
37	9層膜	980nm 4%	3.6%	1803.77nm 7.36倍	123nm	123/980= 0.126
38	9層膜	1017nm 4%	3.6%	1871.83nm 7.64倍	128nm	128/1017= 0.126
39	9層膜	980nm 5%	4.6%	1801.04nm 7.35倍	116nm	116/980= 0.118
40	9層膜	1013nm 5%	4.6%	1857.42nm 7.58倍	120nm	120/1013= 0.118

【0137】

以上、本発明を説明する実施の形態において、7層反射膜、6層反射膜及び9層反射膜をその一例として挙げて説明したが、本発明はこれらに限定されるもの

ではない。多層反射膜はこれ以外の複数層であってもよい。3種類の材料を用いる場合を示したが、4種類以上の材料の場合も予め位相条件を与えることで同様に取り扱える。また、一对のアルミナ及び酸化タantalの2層膜の寄与を示す O 、 A 、 B 、 C 、 D 等のパラメータの値は上記実施の形態に示した値に限定されるものではない。さらに、半導体光素子として半導体レーザ素子の場合を例に挙げたが、これに限られず、本発明は半導体光増幅器、スーパーluminescent・ダイオード、光変調器、光スイッチ等の光デバイスにも適用することができる。また、波長として980nm近傍に限定されるものではなく、可視光領域、遠赤外領域、赤外領域においても適用できる。さらに、反射率として約2～7%の低反射率の場合について説明したが、極小反射率が1～32%の範囲内であれば適用できる。なお、反射率が32%の場合とは、端面部に反射膜のコーティングをしない場合のおよその反射率である。

【0138】

【発明の効果】

本発明に係る半導体光素子によれば、多層反射膜のそれぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、導波層を導波する光の所定波長、例えば980nmの $1/4$ 波長より大きい。さらに、この多層反射膜の $\sum n_i d_i$ は、導波光のおよそ $5/4$ 波長よりも大きく、非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。また、多層反射膜は、波長の関数である反射率の極小値から該極小値+2%の範囲内となる連続する波長帯域幅 $\Delta\lambda$ を、上記波長 λ で割った値 $\Delta\lambda/\lambda$ が0.062以上である。これにより、非常に厚い膜であるにもかかわらず、低反射率の波長帯域 $\Delta\lambda$ が広がる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 複素数表示による振幅反射率を示す複素平面図である。

【図2】 端面に仮想単層反射膜を有する半導体光素子の構造を示す概略断面図である。

【図3】 図2の仮想単層反射膜を2層膜で置き換えた場合の本発明に係る半導体光素子の構造を示す概略断面図である。

【図 4】 図 2 の仮想単層反射膜を 4 層膜で置き換えた場合の本発明に係る半導体光素子の構造を示す概略断面図である。

【図 5】 本発明の実施の形態 1 に係る半導体光素子の端面部の構造を示す概略断面図である。

【図 6】 本発明の実施の形態 1 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 7】 本発明の実施の形態 2 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 8】 端面部に形成された仮想単層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 9】 本発明の実施の形態 3 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 10】 本発明の実施の形態 4 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 11】 本発明の実施の形態 5 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 12】 本発明の実施の形態 6 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 13】 本発明の実施の形態 7 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 14】 本発明の実施の形態 8 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 15】 本発明の実施の形態 9 に係る半導体光素子の端面部の構造を示す概略断面図である。

【図 16】 本発明の実施の形態 9 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 17】 本発明の実施の形態 10 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 18】 本発明の実施の形態 11 に係る半導体光素子の端面部に形成さ

れた多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 1 9】 本発明の実施の形態 1 2 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 2 0】 本発明の実施の形態 1 3 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 2 1】 本発明の実施の形態 1 4 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 2 2】 本発明の実施の形態 1 5 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 2 3】 本発明の実施の形態 1 6 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 2 4】 本発明の実施の形態 1 7 に係る半導体光素子の端面部の構造を示す概略断面図である。

【図 2 5】 本発明の実施の形態 1 7 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 2 6】 本発明の実施の形態 1 8 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 2 7】 本発明の実施の形態 1 9 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 2 8】 本発明の実施の形態 2 0 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 2 9】 本発明の実施の形態 2 1 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 0】 本発明の実施の形態 2 2 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 1】 本発明の実施の形態 2 3 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 2】 本発明の実施の形態 2 4 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 3】 本発明の実施の形態 2 5 に係る半導体光素子の端面部の構造を示す概略断面図である。

【図 3 4】 本発明の実施の形態 2 5 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 5】 本発明の実施の形態 2 6 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 6】 本発明の実施の形態 2 7 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 7】 本発明の実施の形態 2 8 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 8】 本発明の実施の形態 2 9 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 9】 本発明の実施の形態 3 0 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 0】 本発明の実施の形態 3 1 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 1】 本発明の実施の形態 3 2 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 2】 本発明の実施の形態 3 3 に係る半導体光素子の端面部の構造を示す概略断面図である。

【図 4 3】 本発明の実施の形態 3 3 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 4】 本発明の実施の形態 3 4 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 5】 本発明の実施の形態 3 5 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 6】 本発明の実施の形態 3 6 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 7】 本発明の実施の形態 3 7 に係る半導体光素子の端面部に形成さ

れた多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 8】 本発明の実施の形態 38 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 9】 本発明の実施の形態 39 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

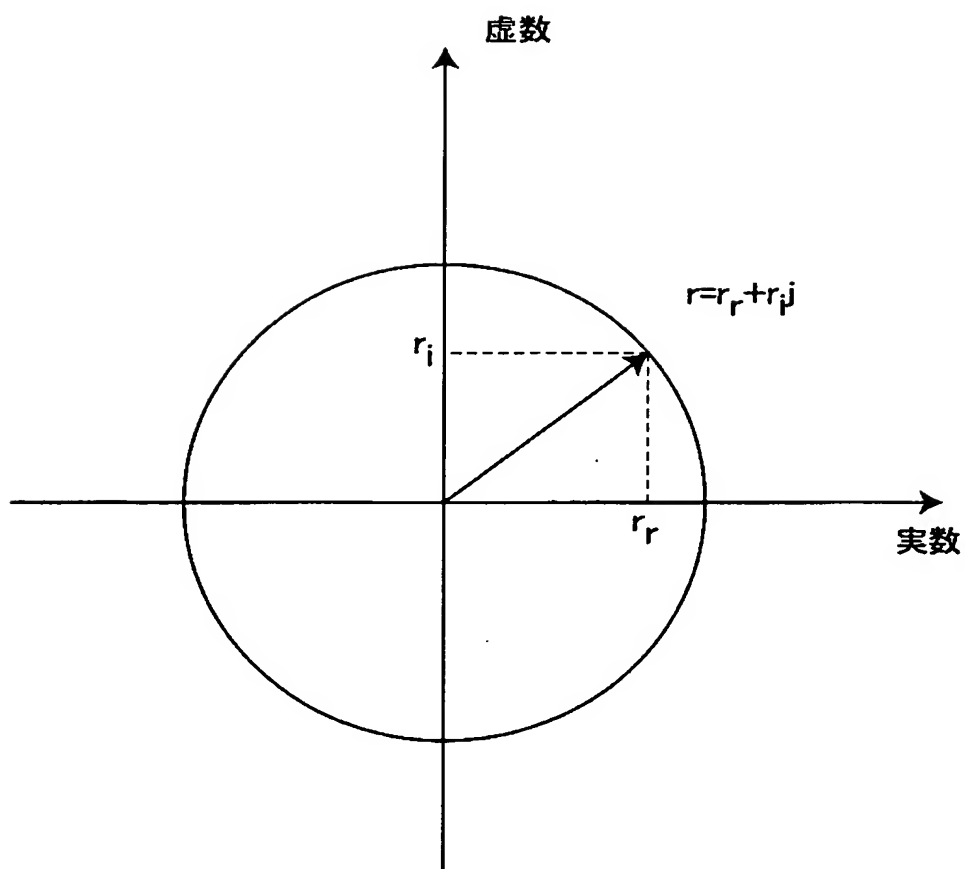
【図 5 0】 本発明の実施の形態 40 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【符号の説明】

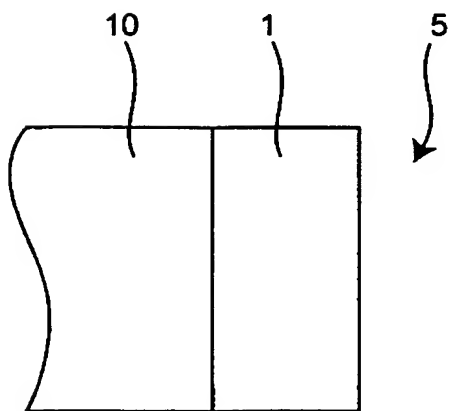
1 第1層膜、2 第2層膜、3 第3層膜、4 第4層膜、5 自由空間（空気）、10 導波層、11、21、31、41、51 第1層膜、12、22、32、42、52 第2層膜、13、23、33、43、53 第3層膜、14、24、34、44、54 第4層膜、15、25、35、45、55 第5層膜、16、26、36、46、56 第6層膜、17、27、47、57 第7層膜、20 7層反射膜（第1層膜：アルミナ）、30 7層反射膜（第1層膜：酸化タンタル）、40 6層反射膜、50 7層反射膜（窒化アルミニウム膜を含む）、58 第8層膜、59 第9層膜、60 9層反射膜、100 導波層、101 反射膜、103 単層反射膜（膜厚 $d = \lambda / (4 n_1)$ ）、104 単層反射膜（膜厚 $d = 5 \lambda / (4 n_1)$ ）

【書類名】 図面

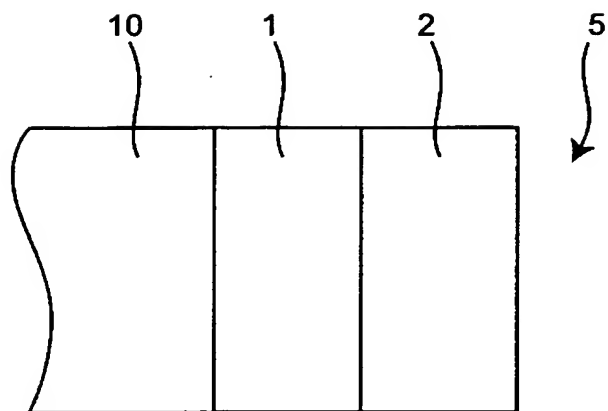
【図 1】



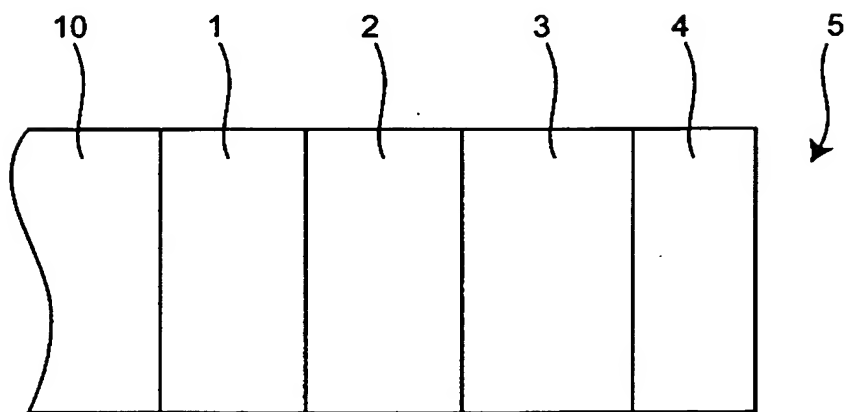
【図 2】



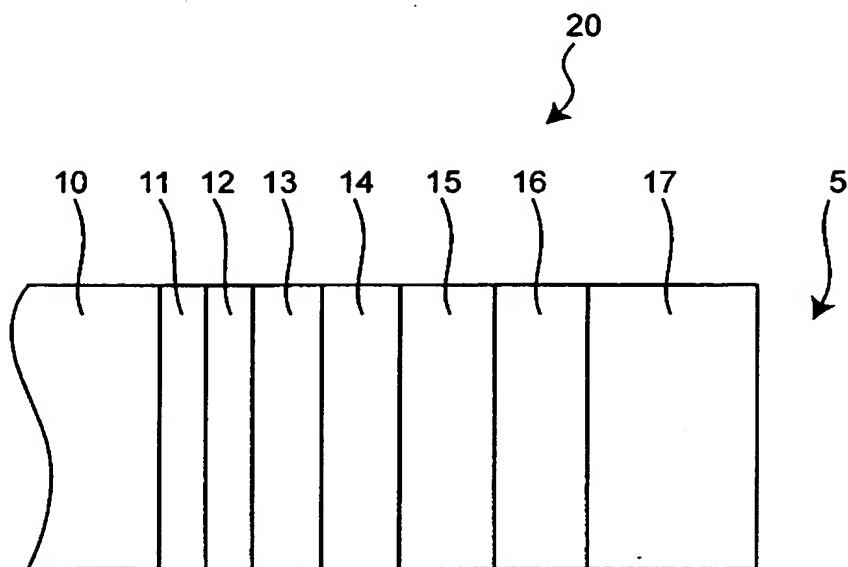
【図 3】



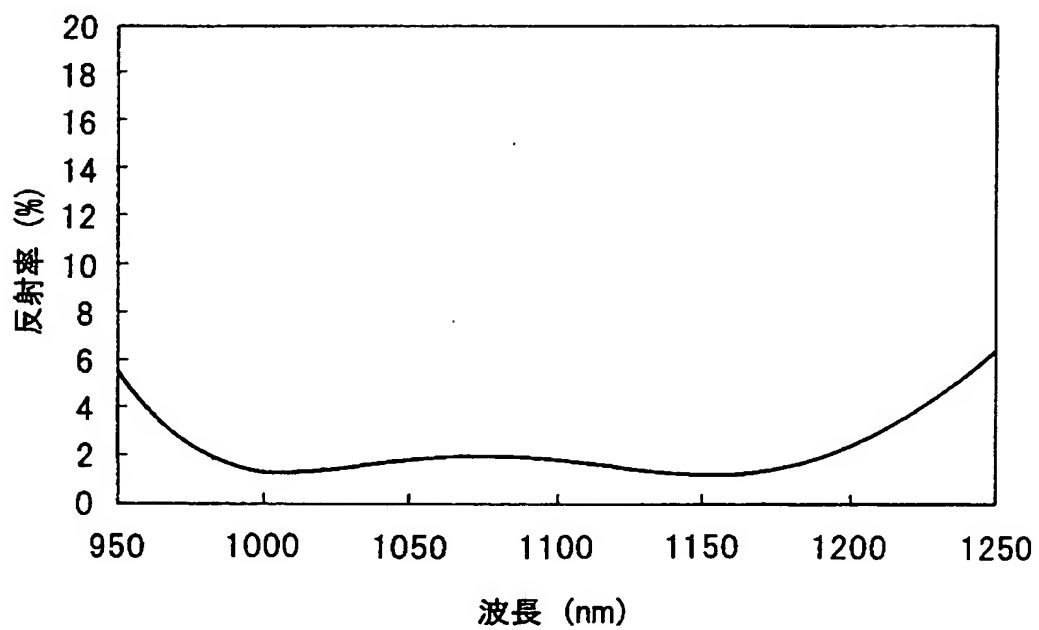
【図 4】



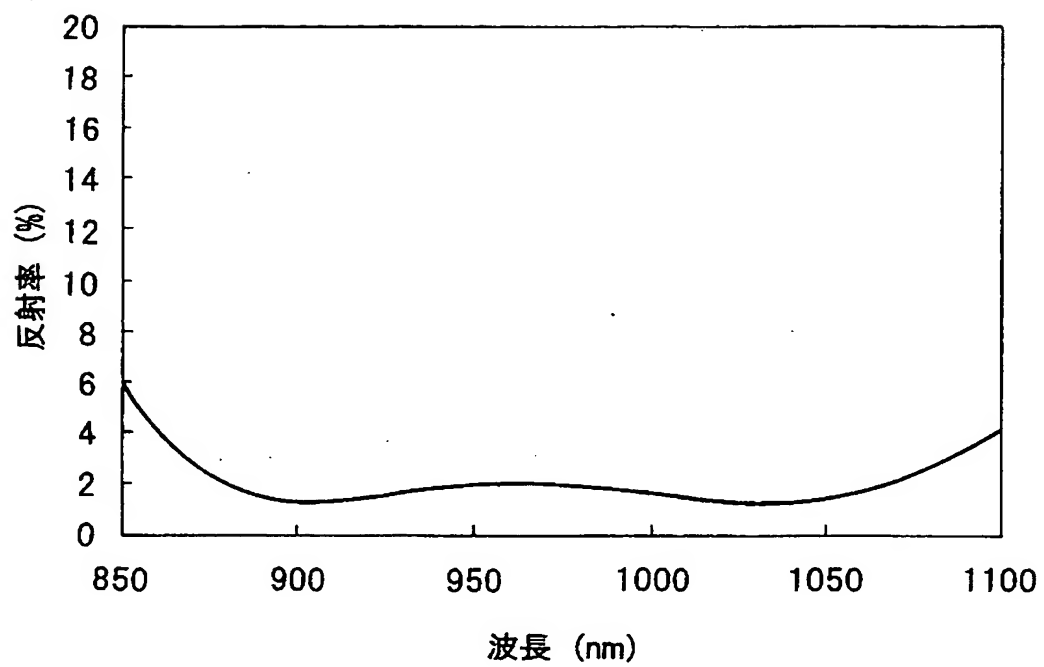
【図 5】



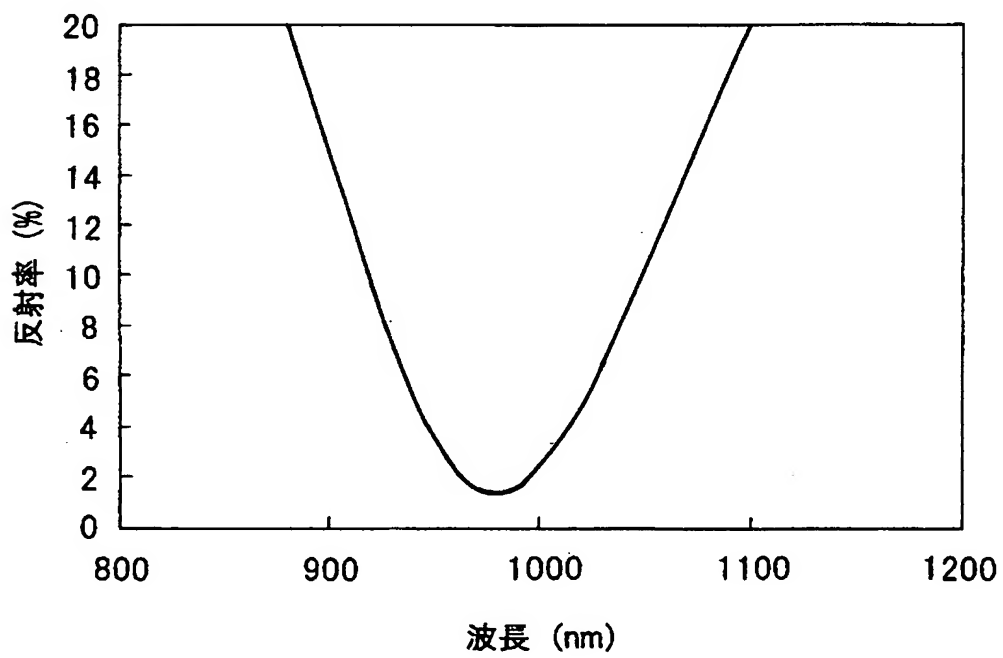
【図 6】



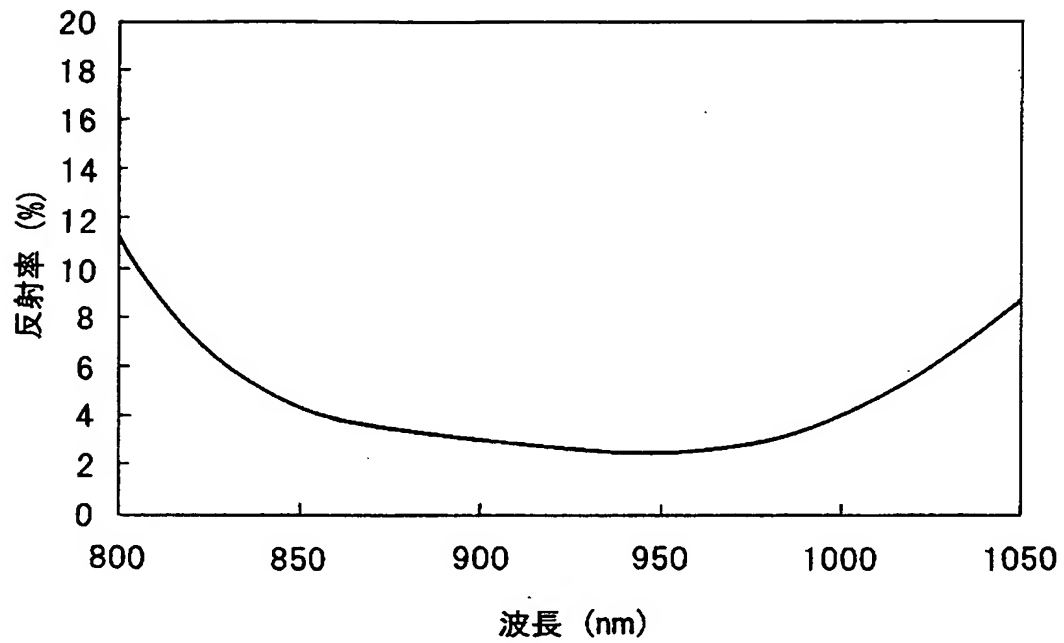
【図 7】



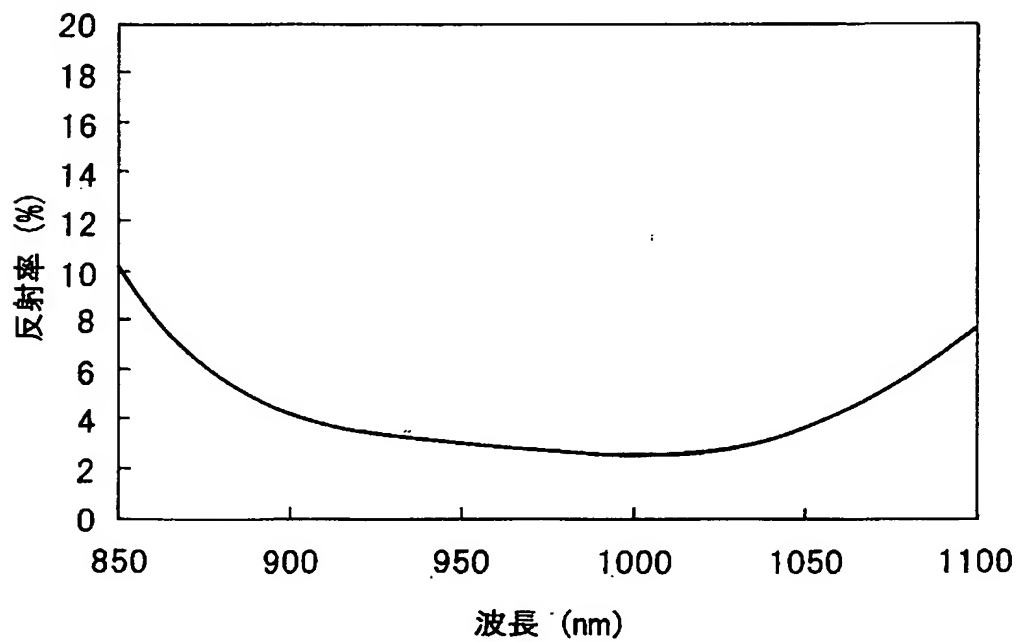
【図 8】



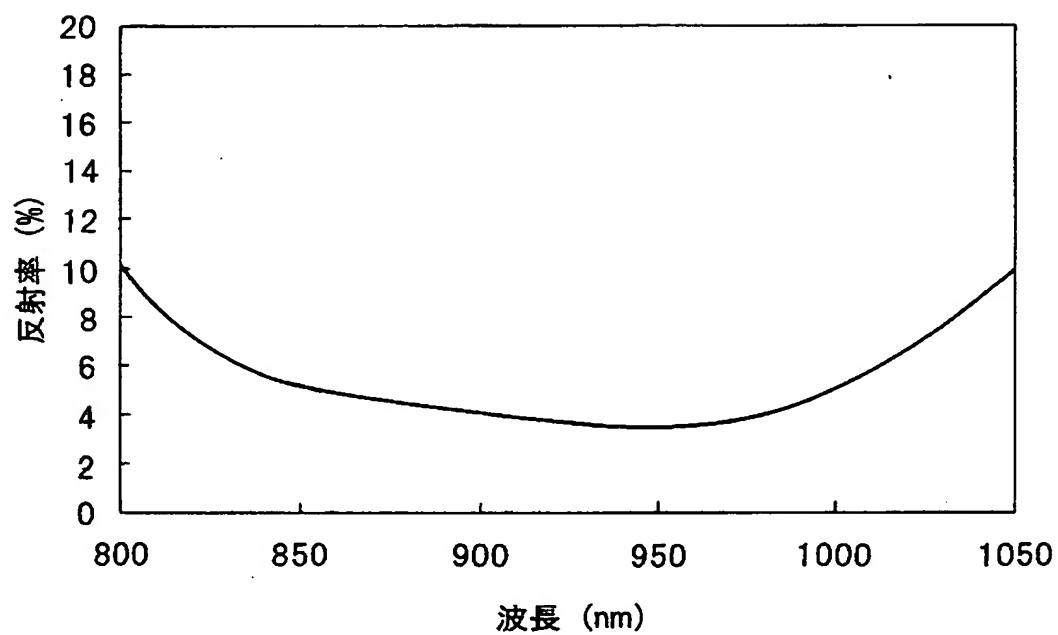
【図 9】



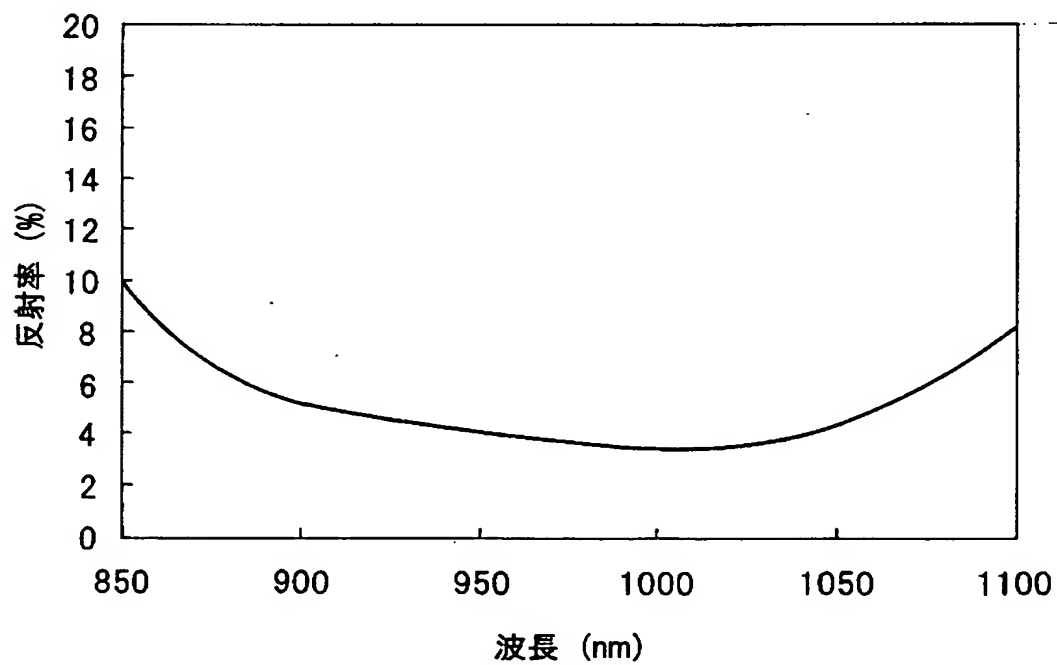
【図 10】



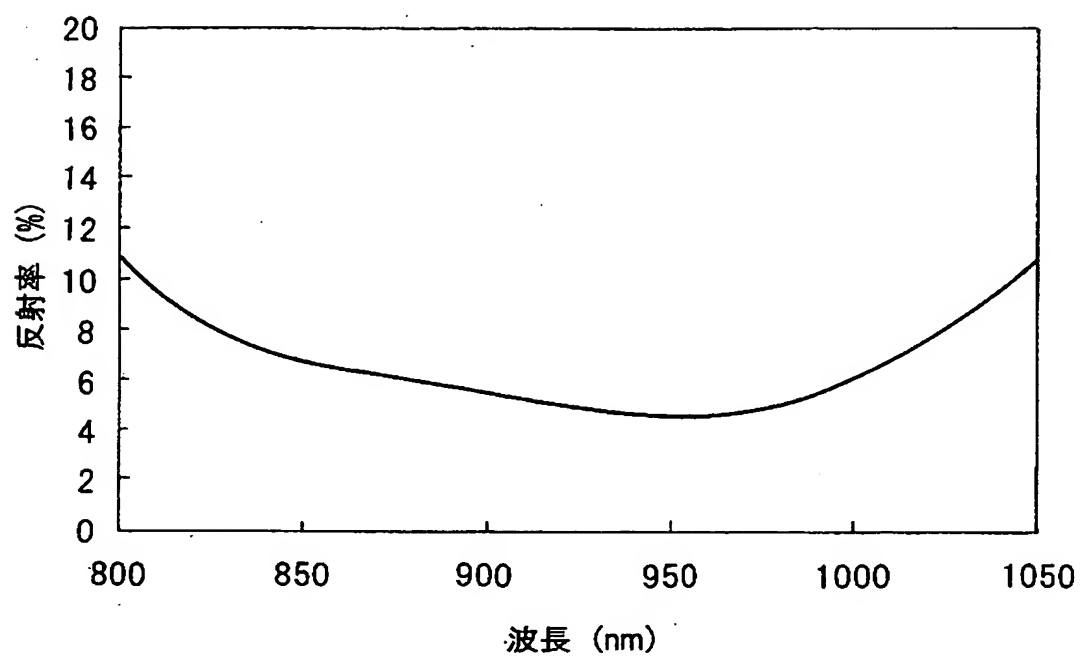
【図 1 1】



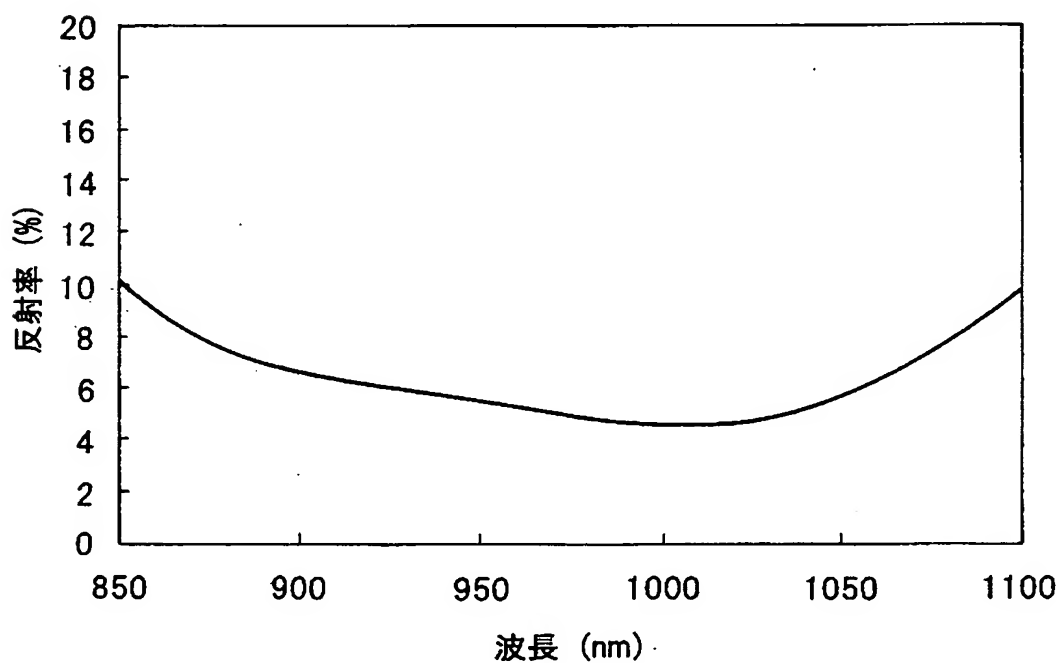
【図 1 2】



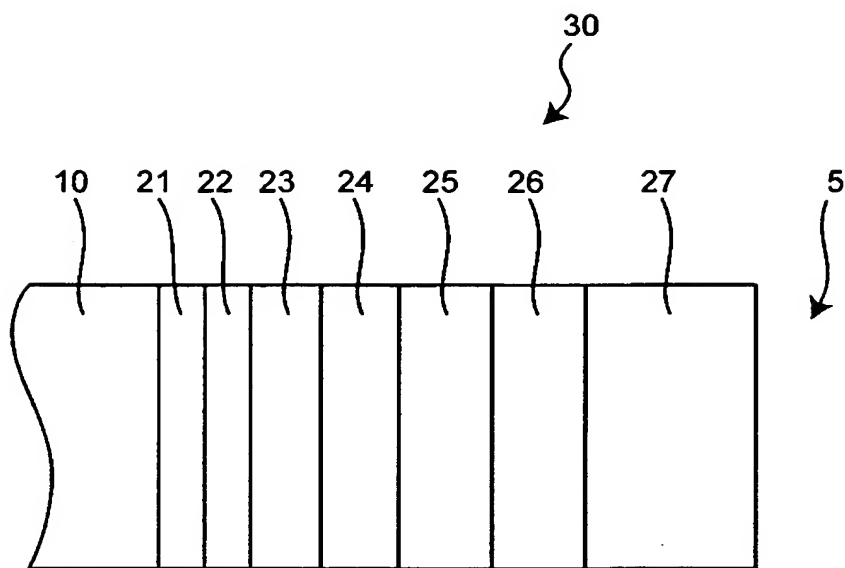
【図 13】



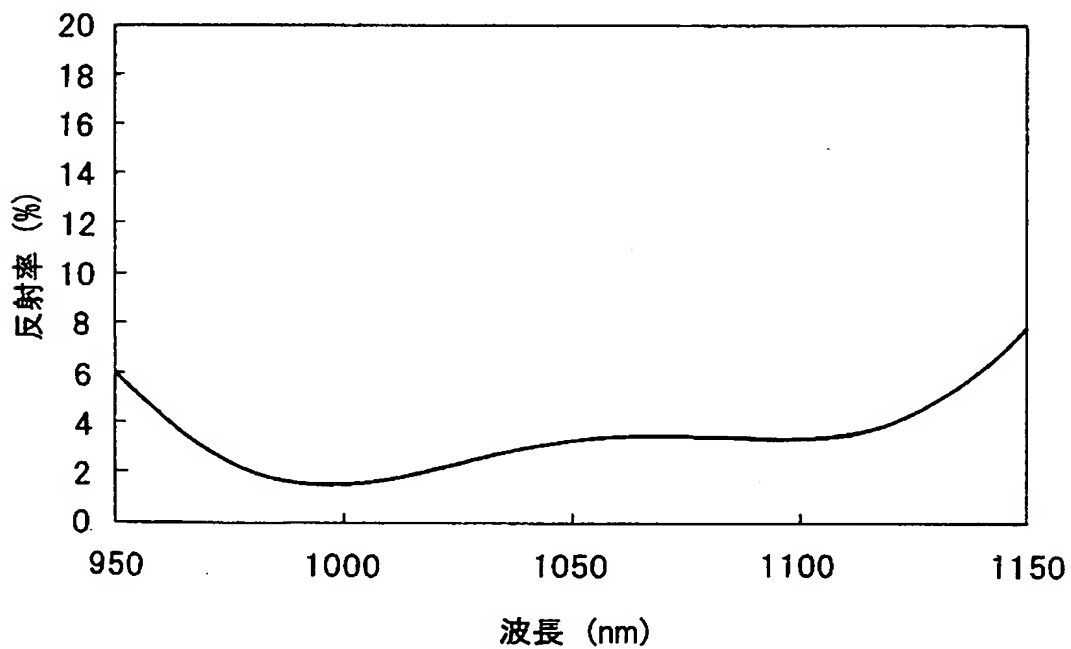
【図 14】



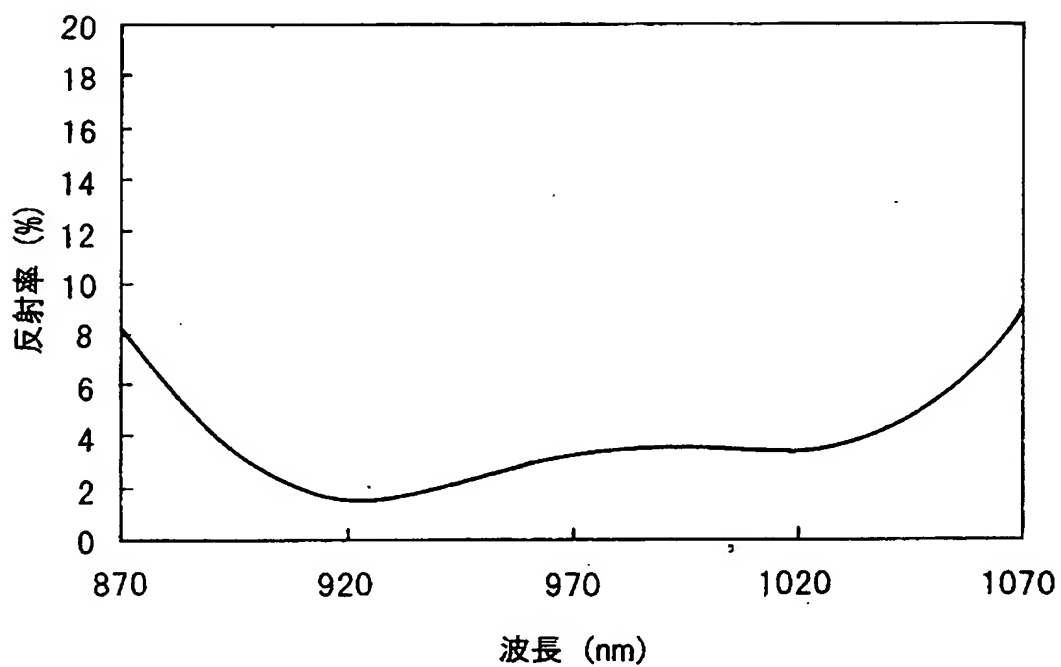
【図 15】



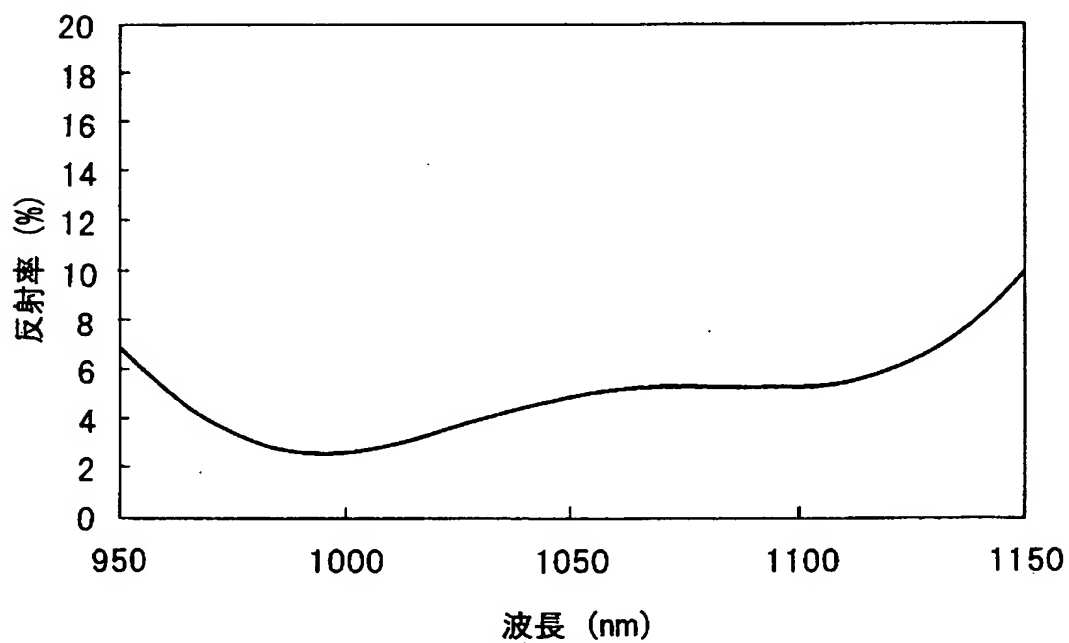
【図 16】



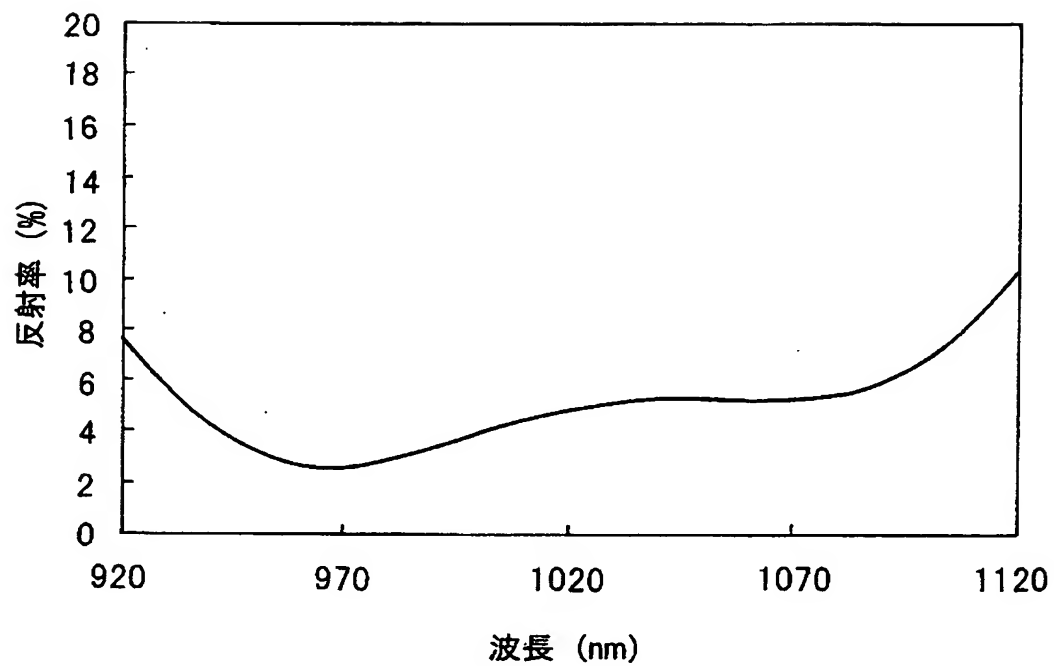
【図 17】



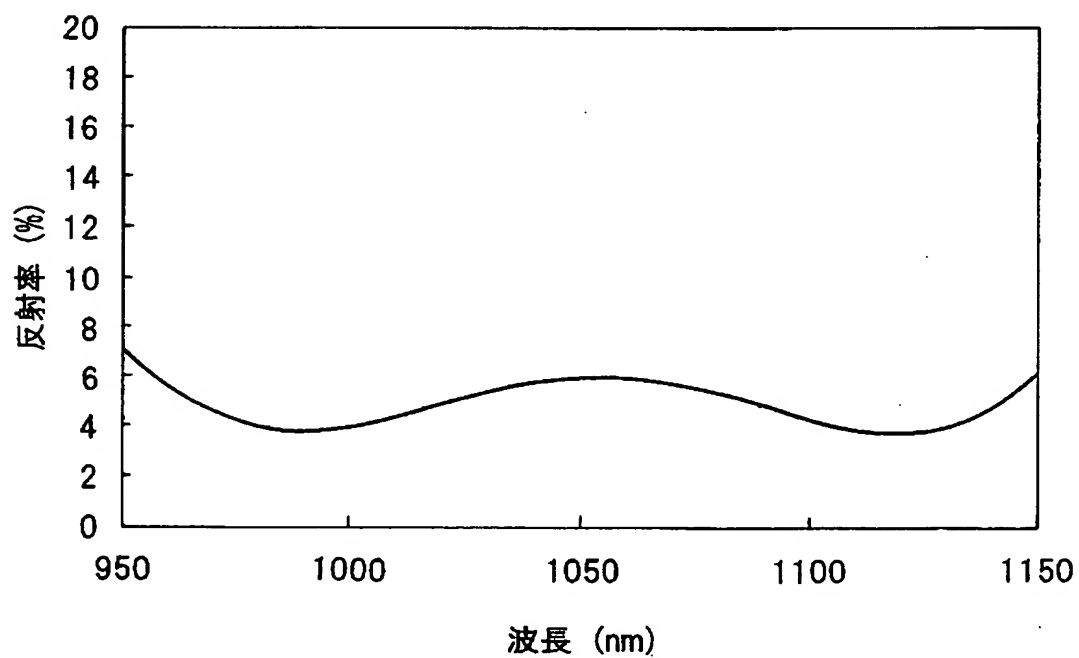
【図 18】



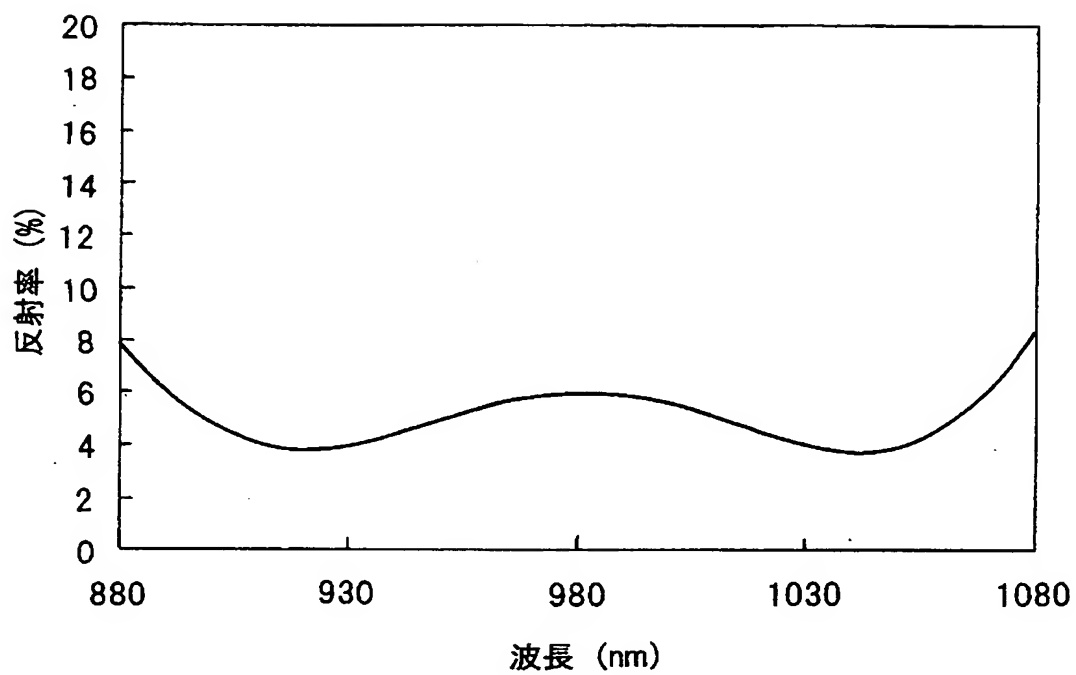
【図 19】



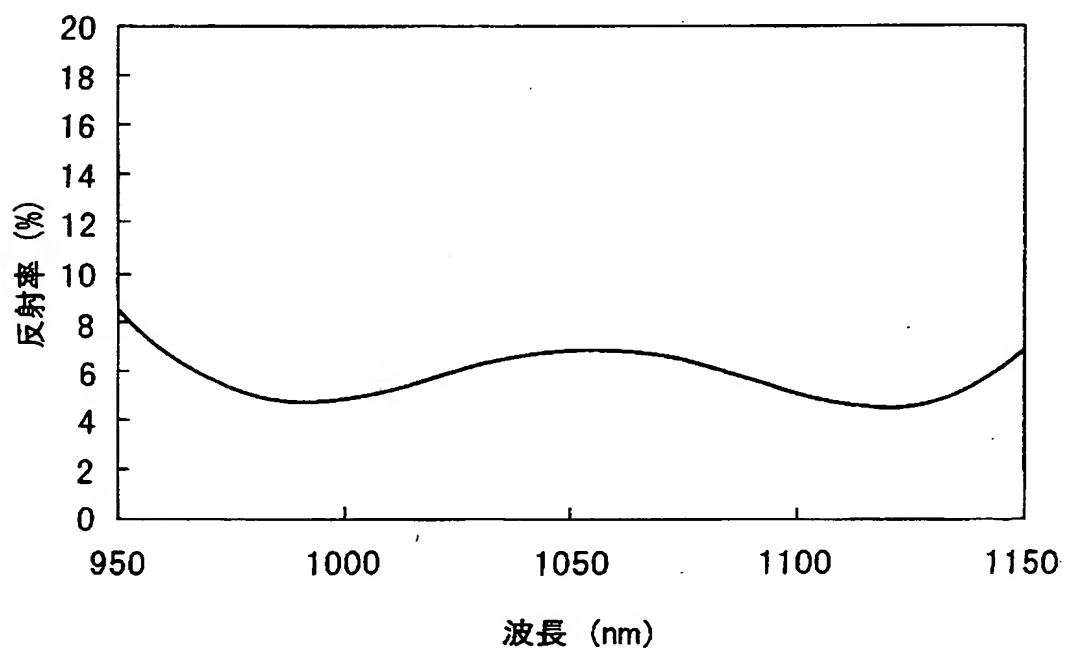
【図 20】



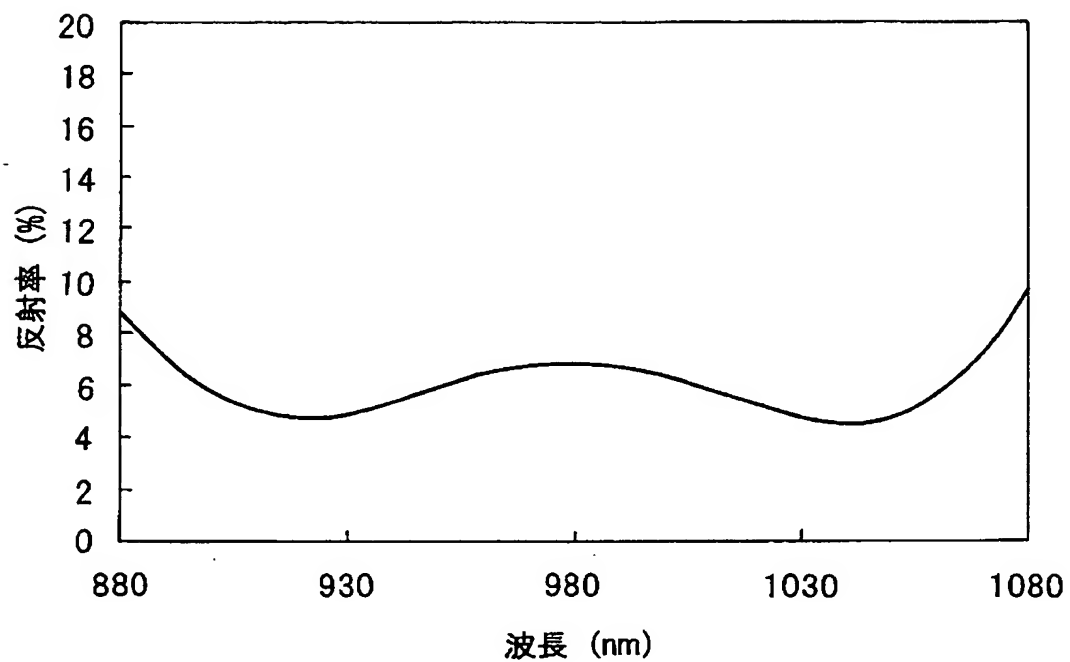
【図 2 1】



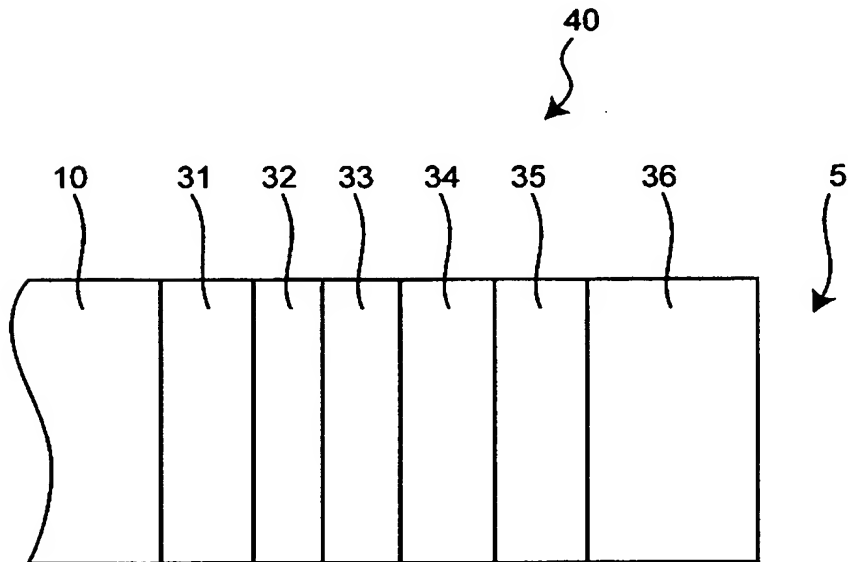
【図 2 2】



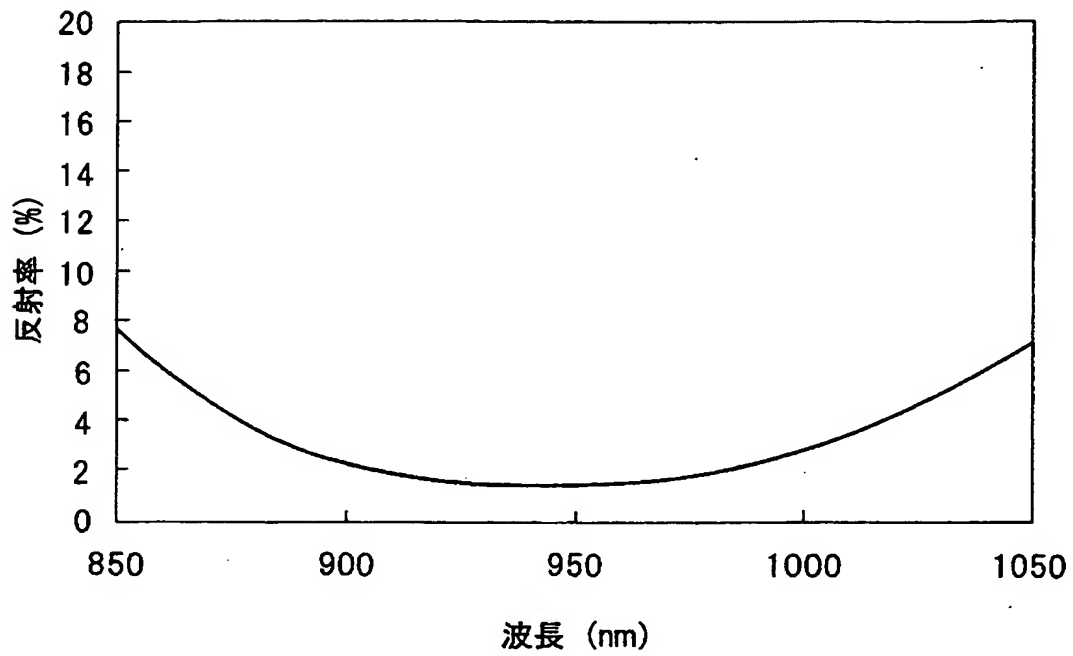
【図 2 3】



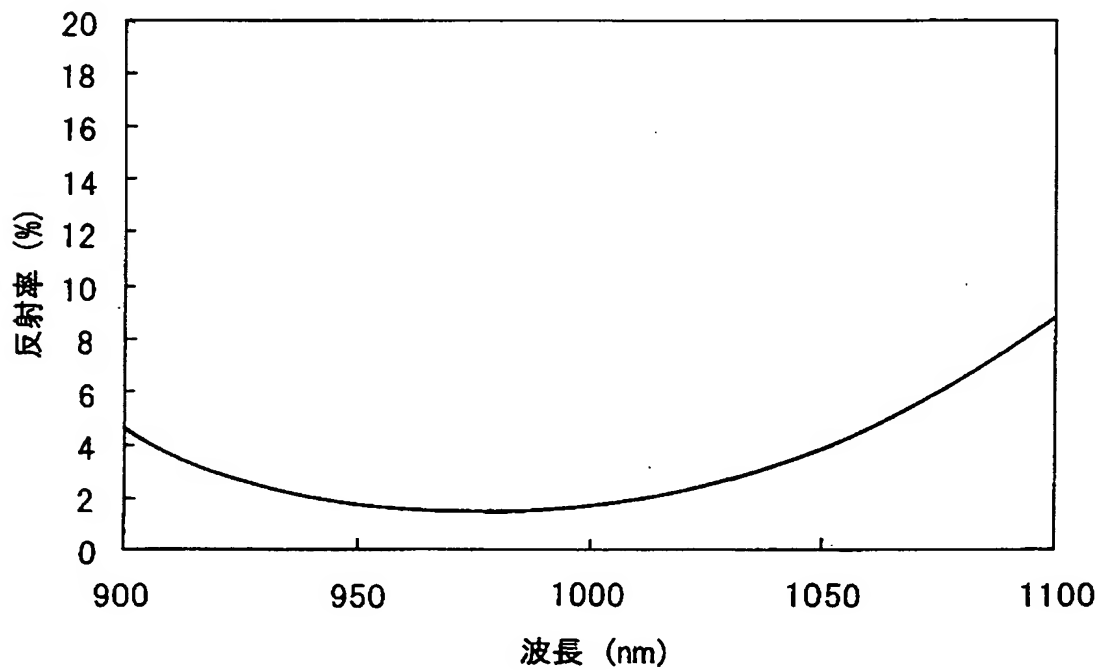
【図 2 4】



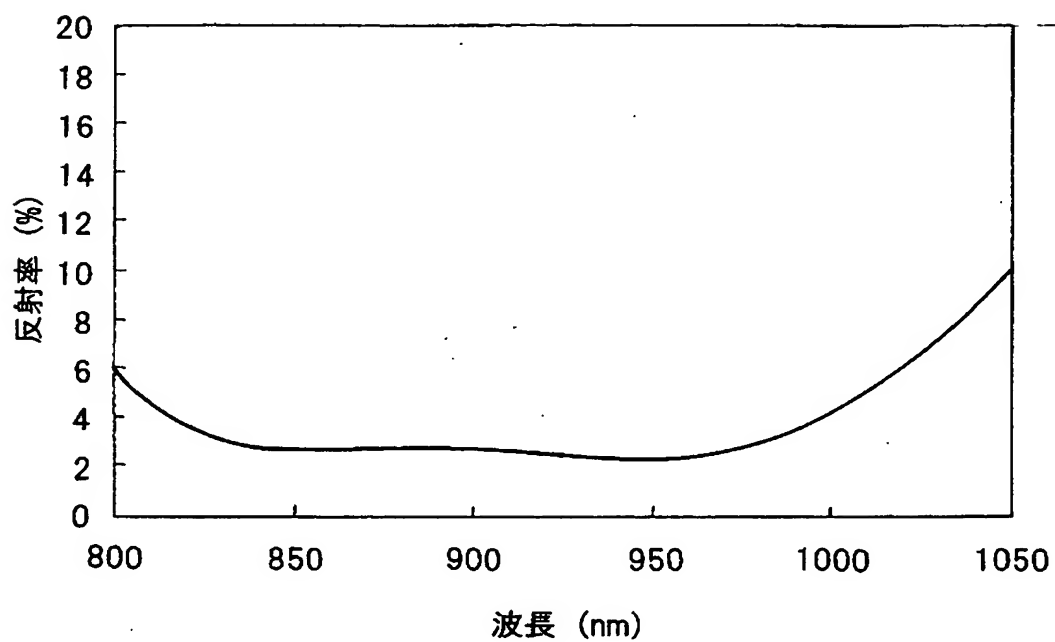
【図 2 5】



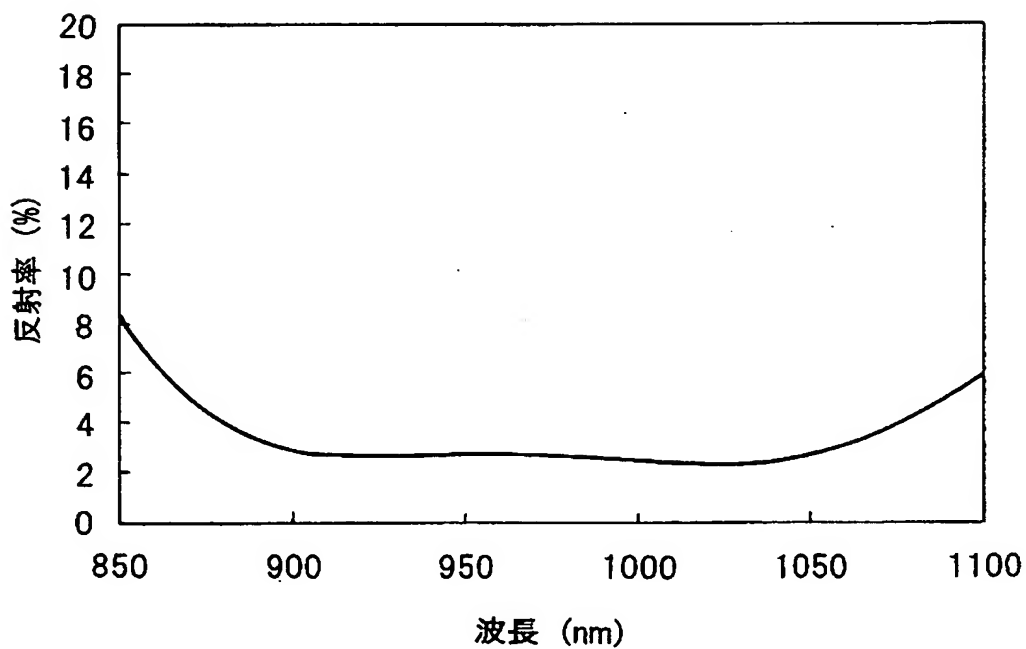
【図 2 6】



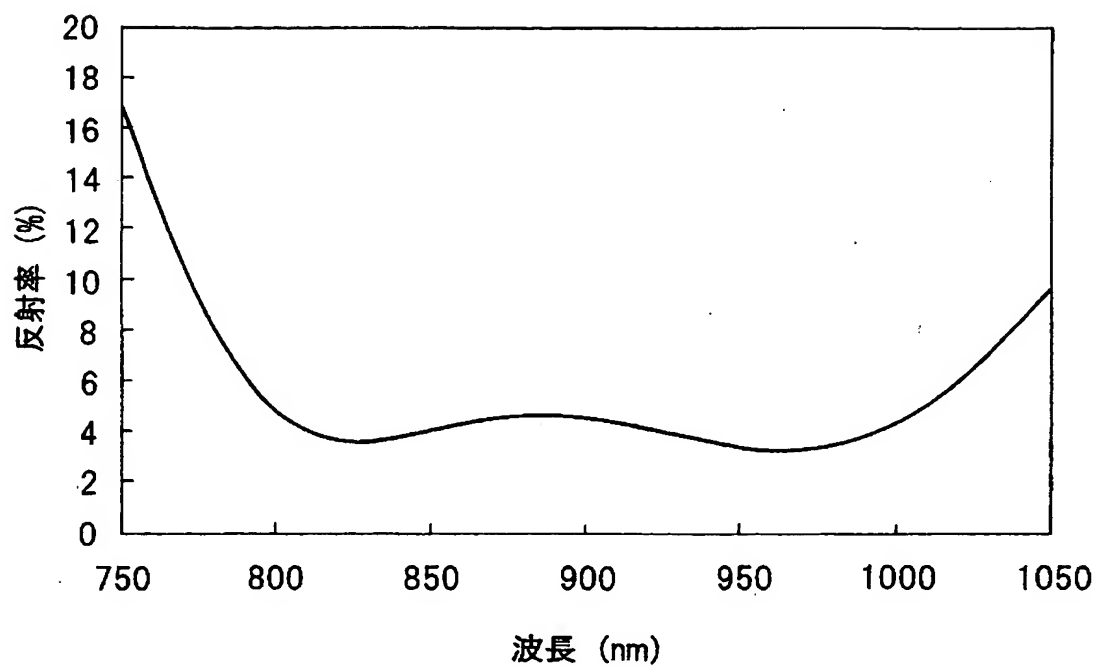
【図 27】



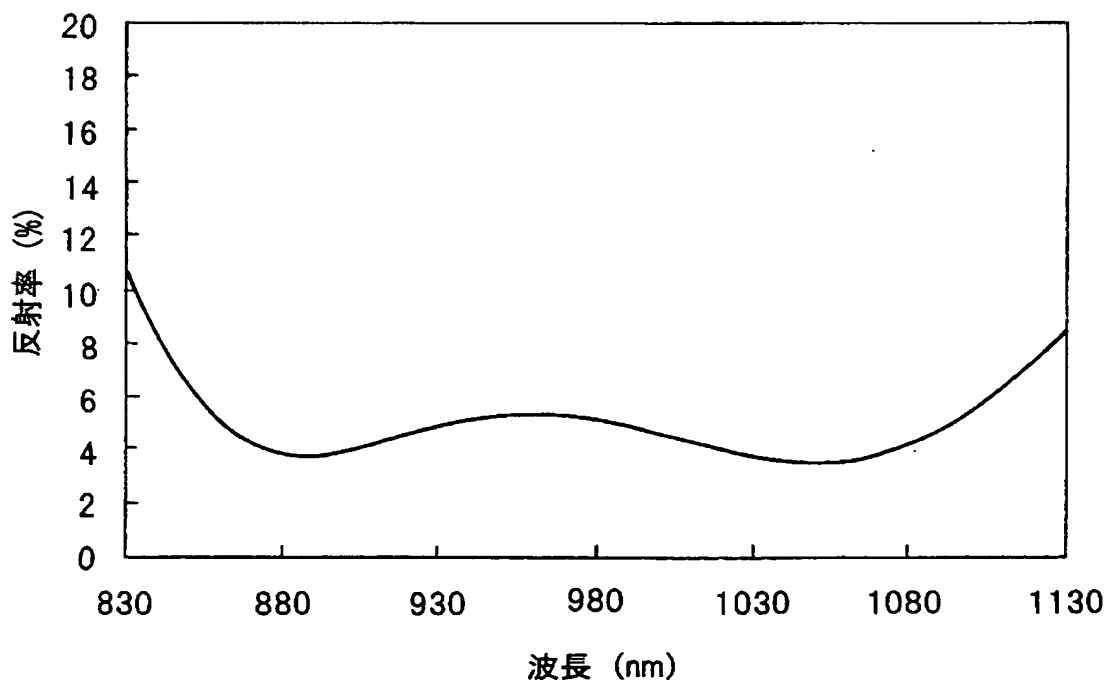
【図 28】



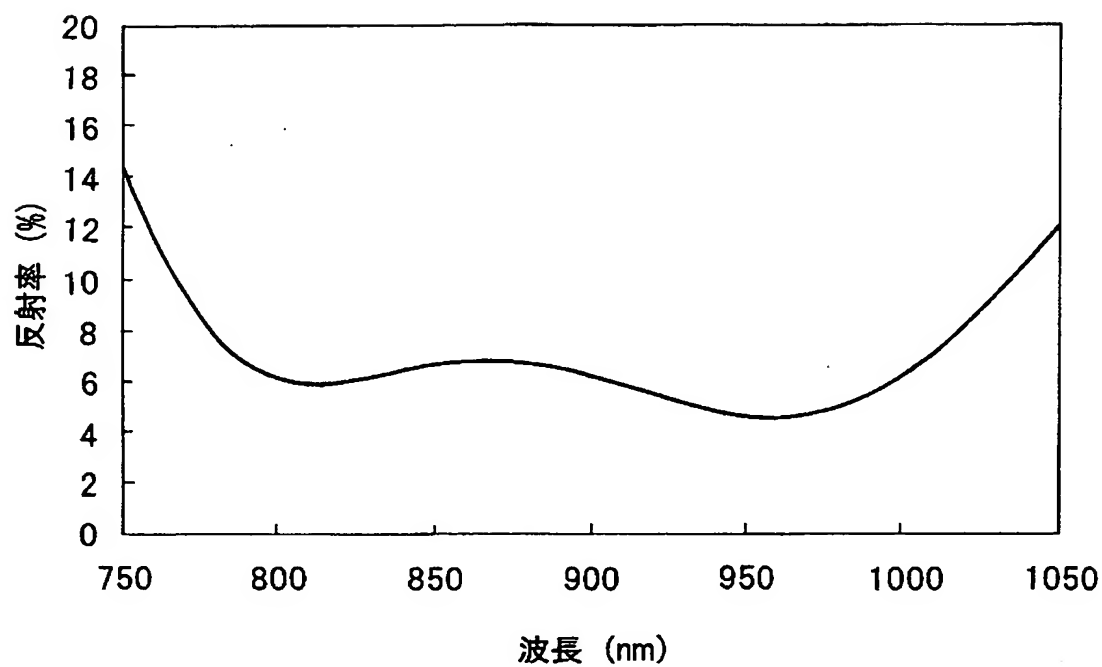
【図 29】



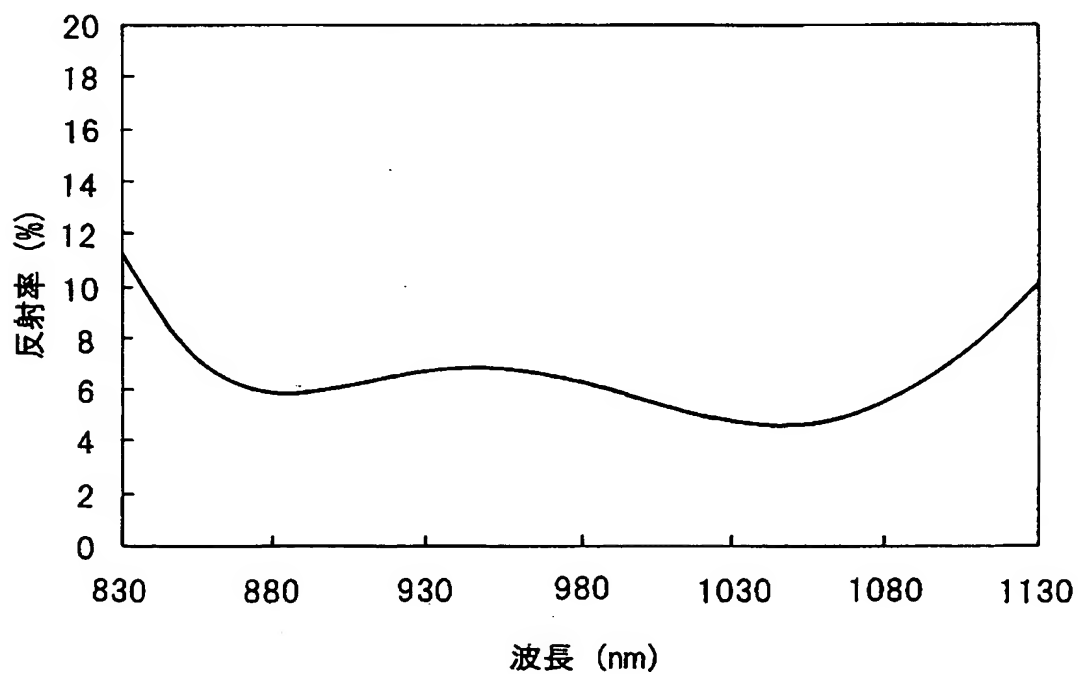
【図 30】



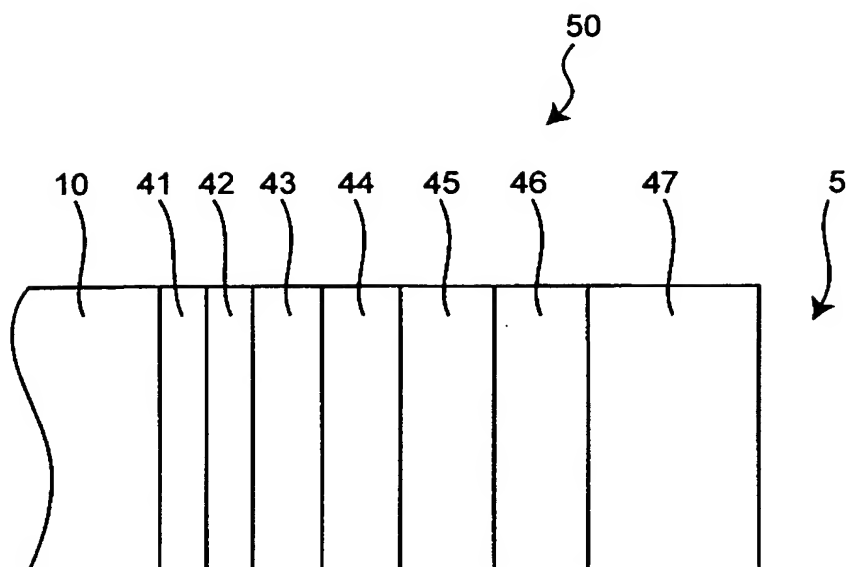
【図 3 1】



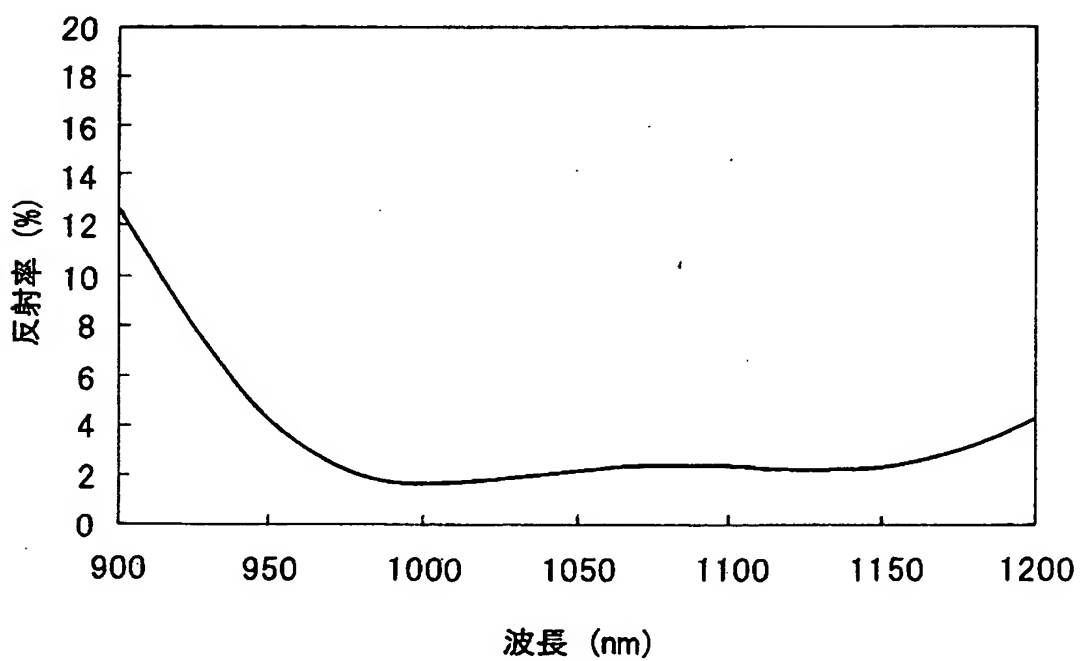
【図 3 2】



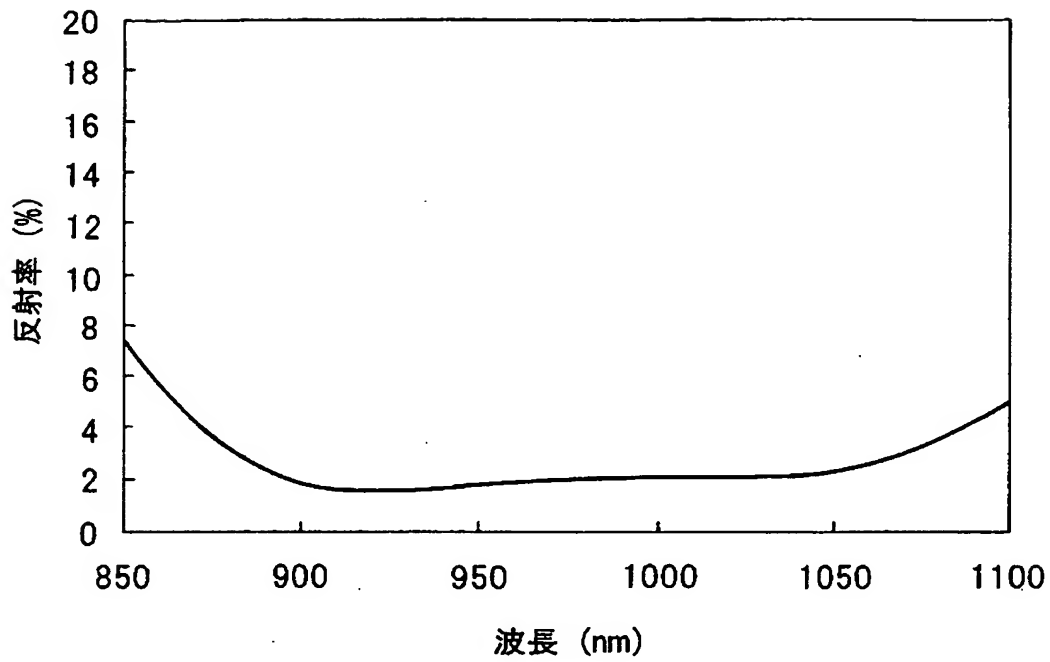
【図 3 3】



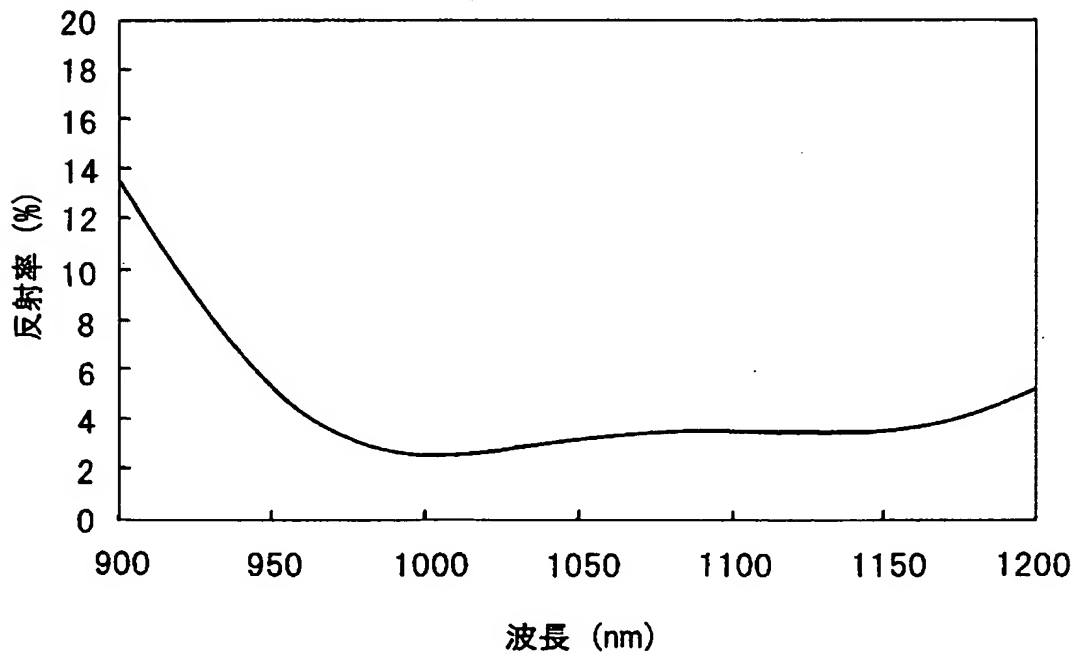
【図 3 4】



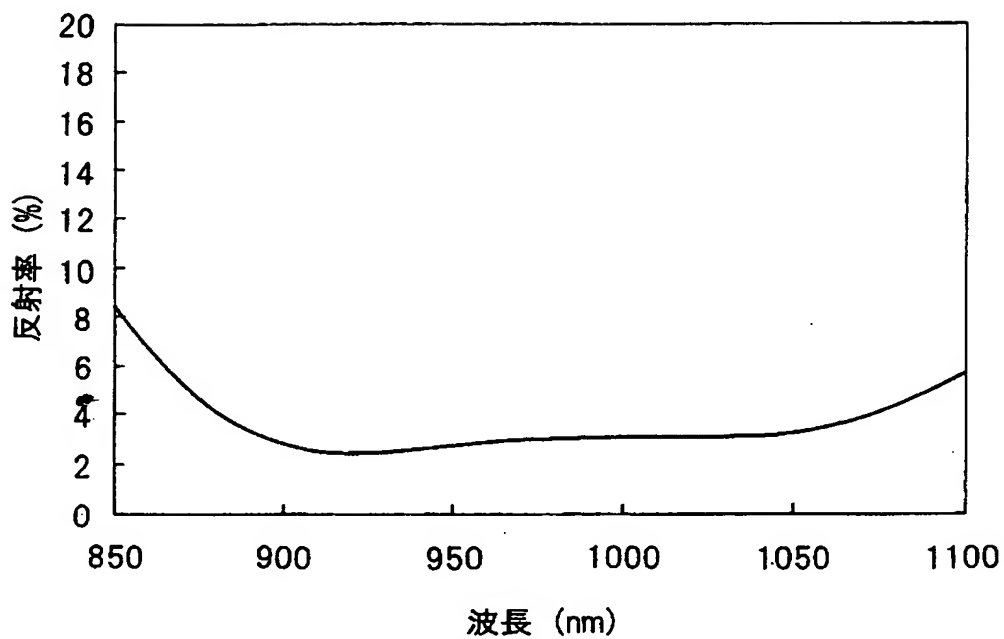
【図 3 5】



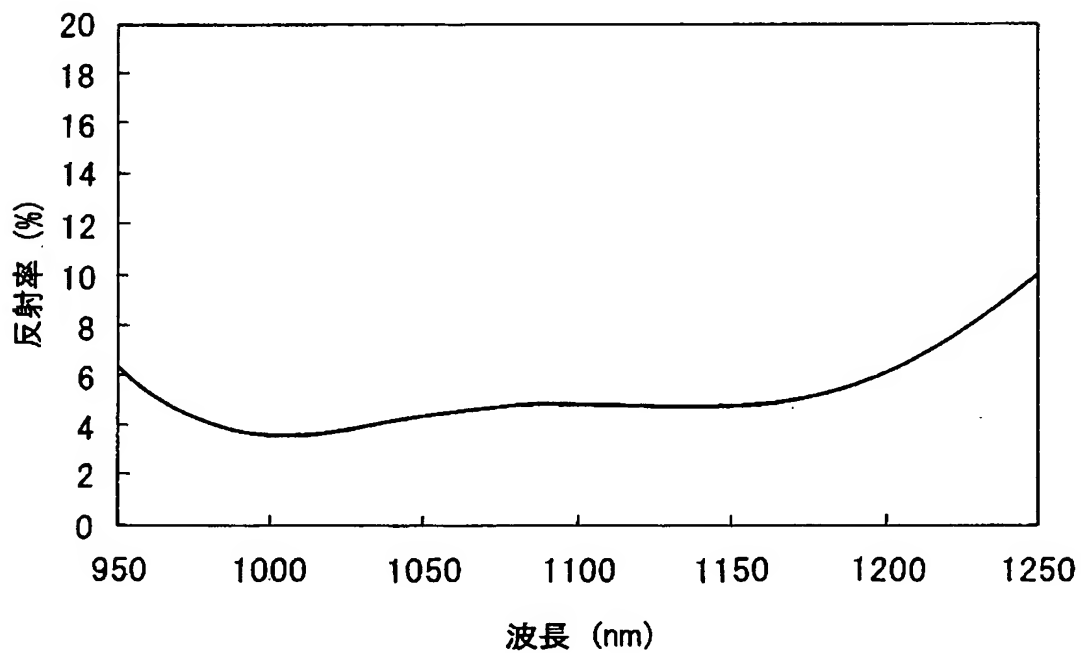
【図 3 6】



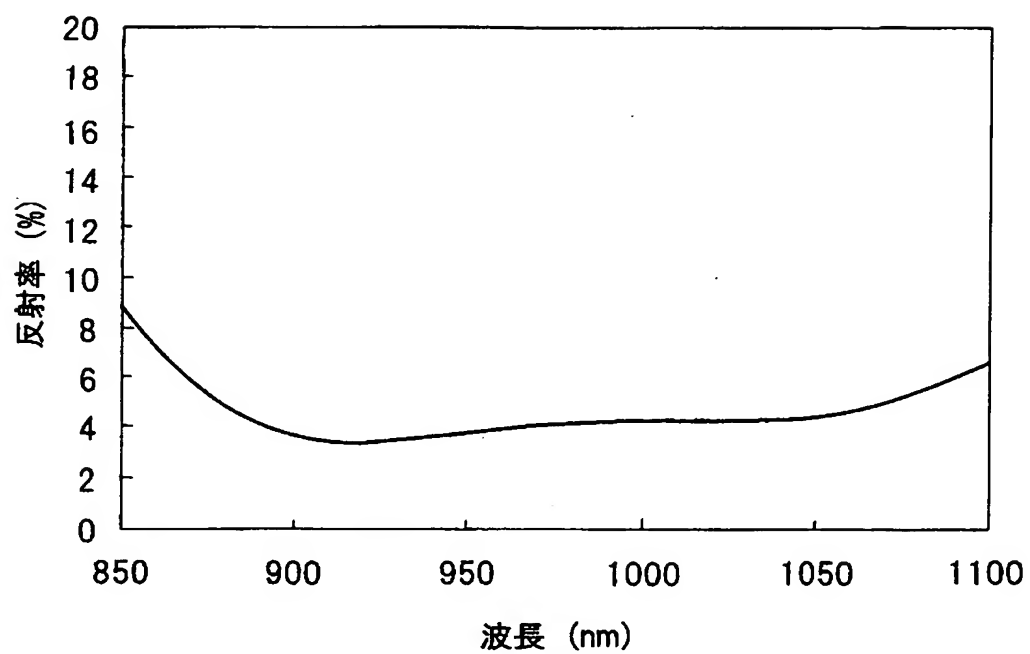
【図 3 7】



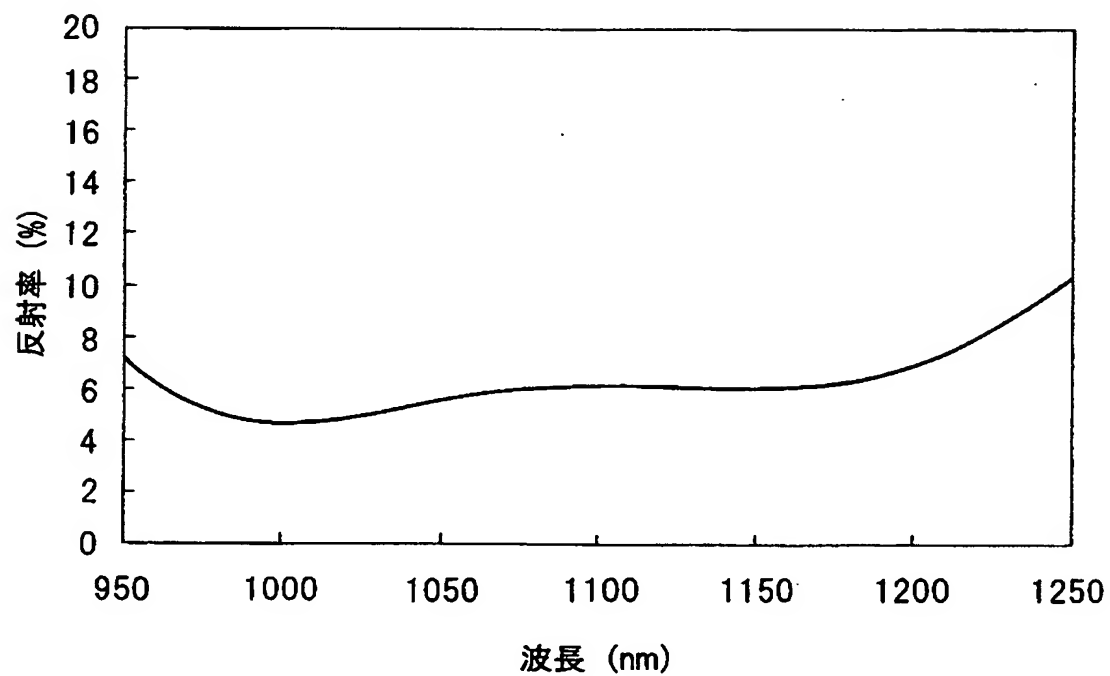
【図 3 8】



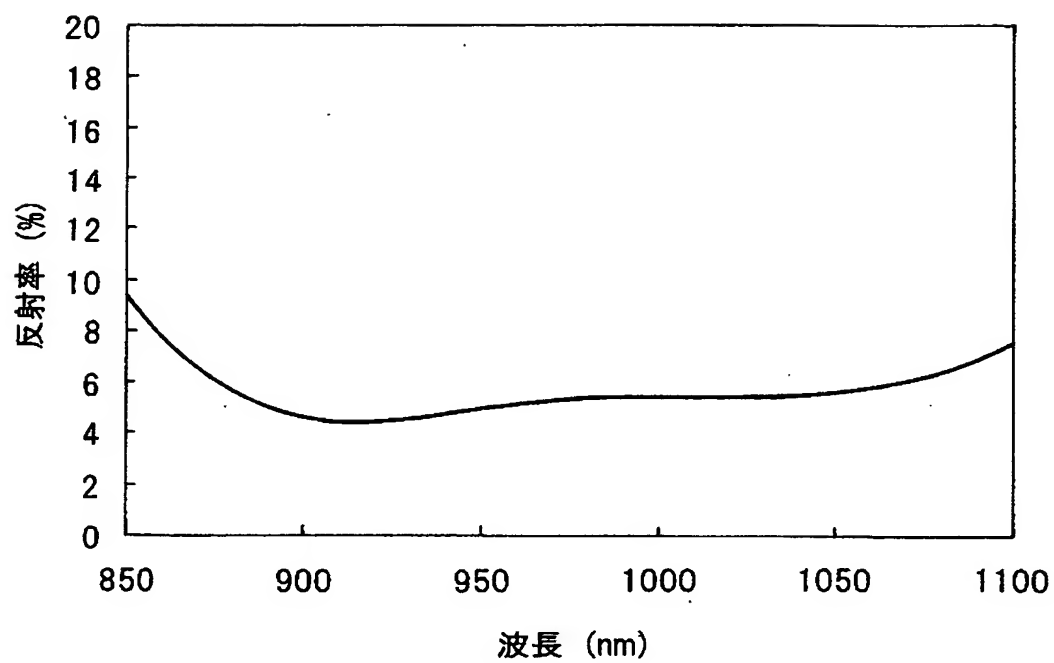
【図 39】



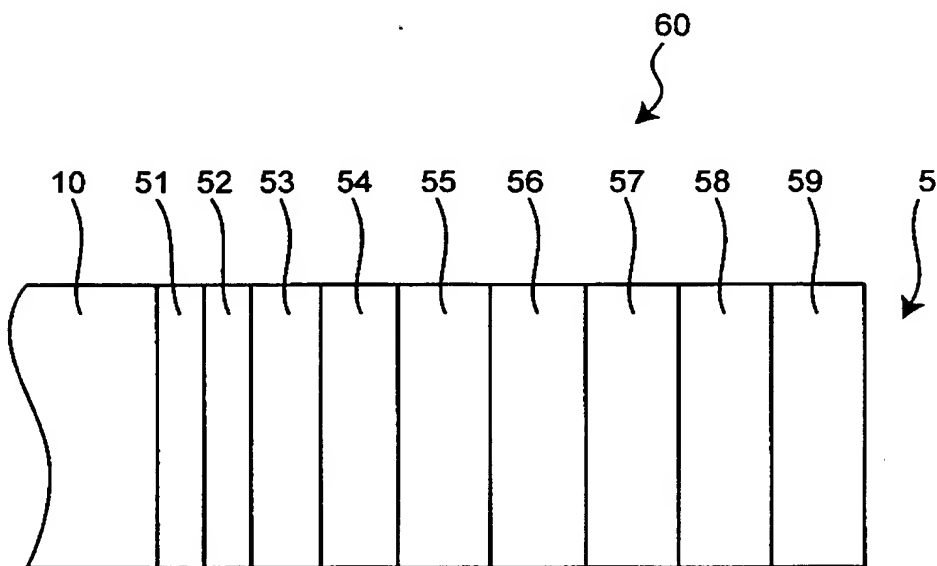
【図 40】



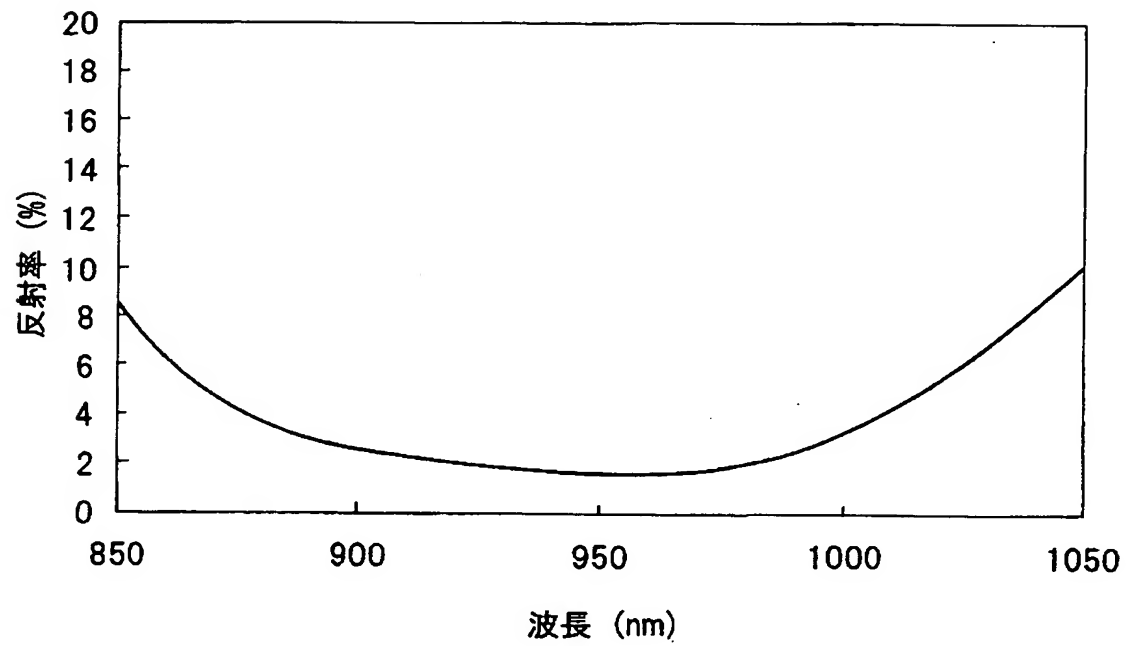
【図 4 1】



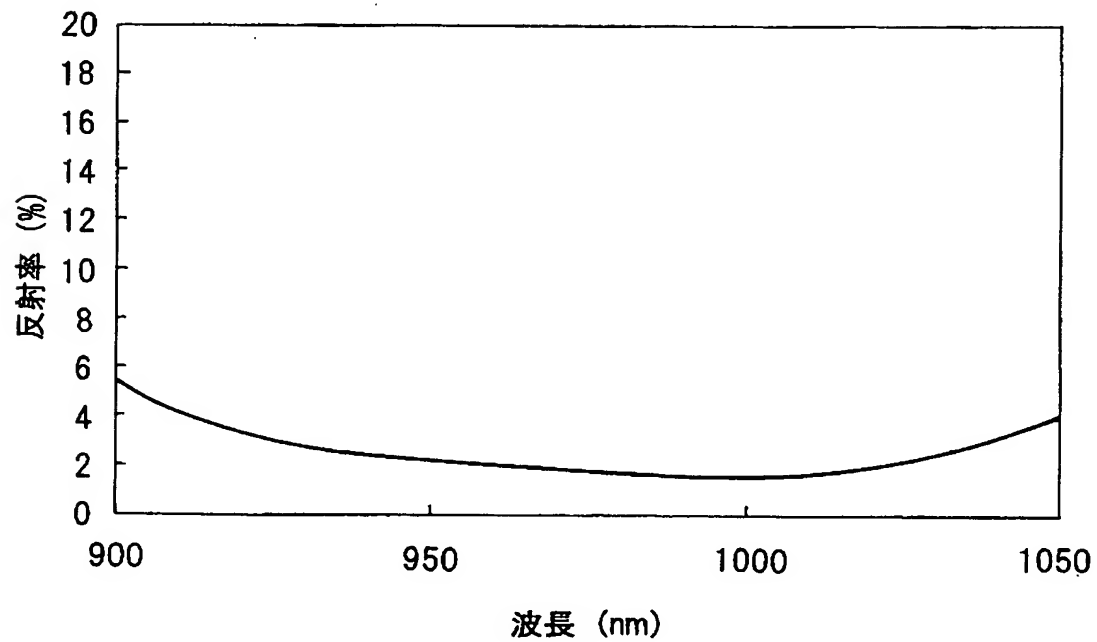
【図 4 2】



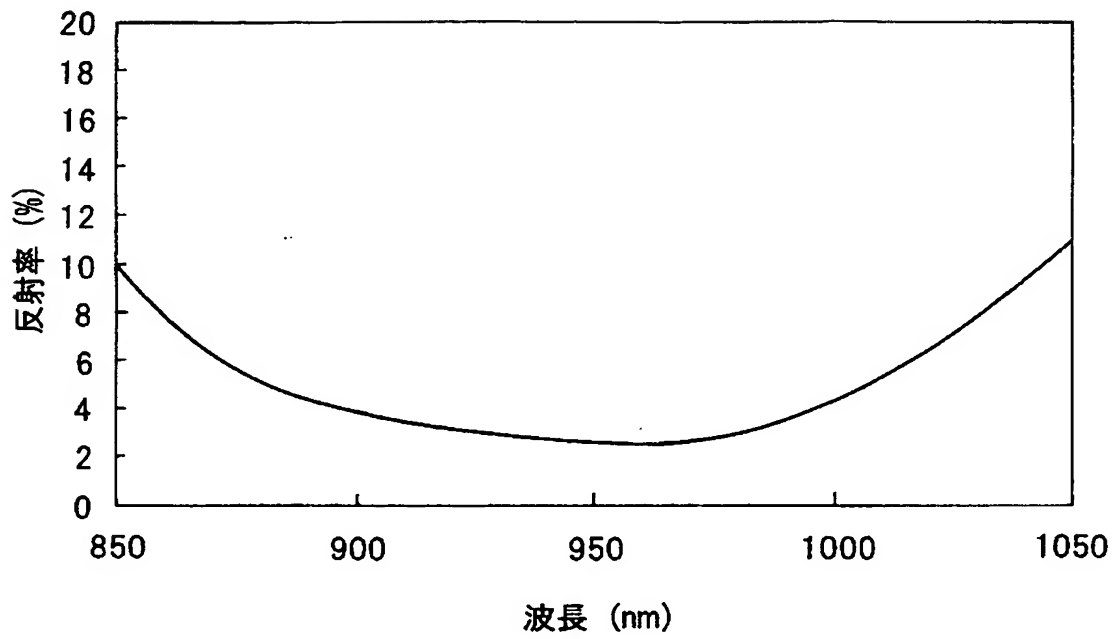
【図 4 3】



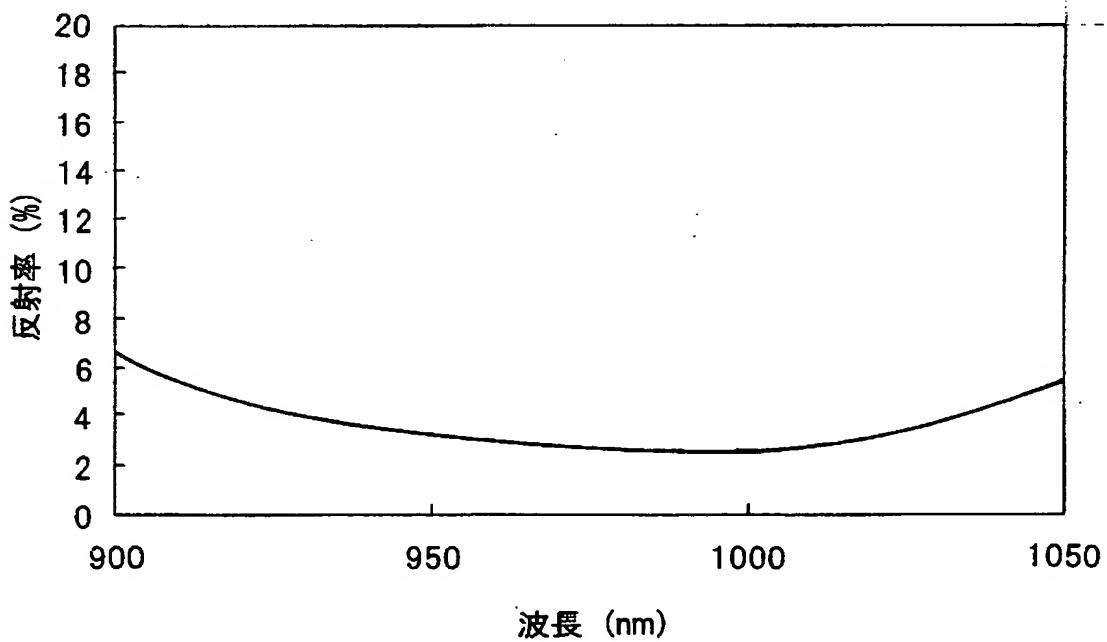
【図 4 4】



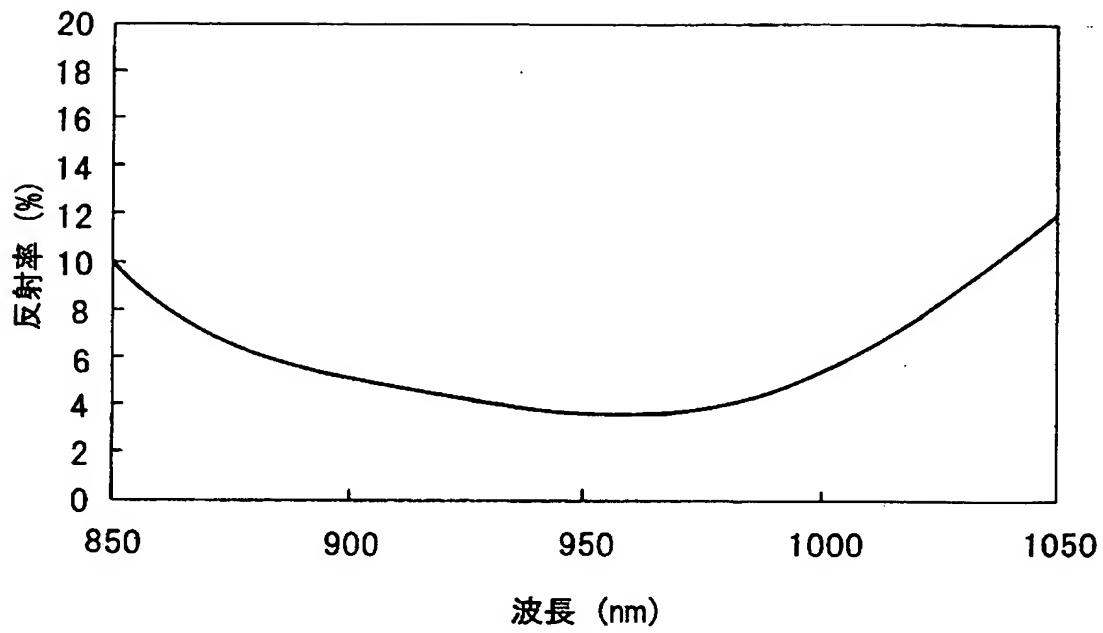
【図 4 5】



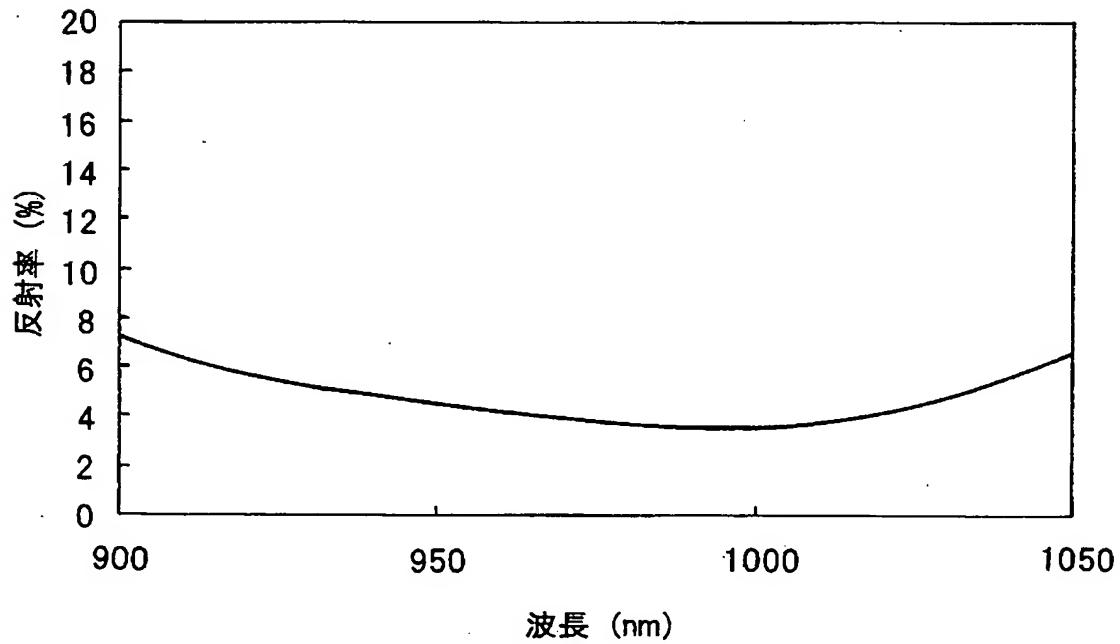
【図 4 6】



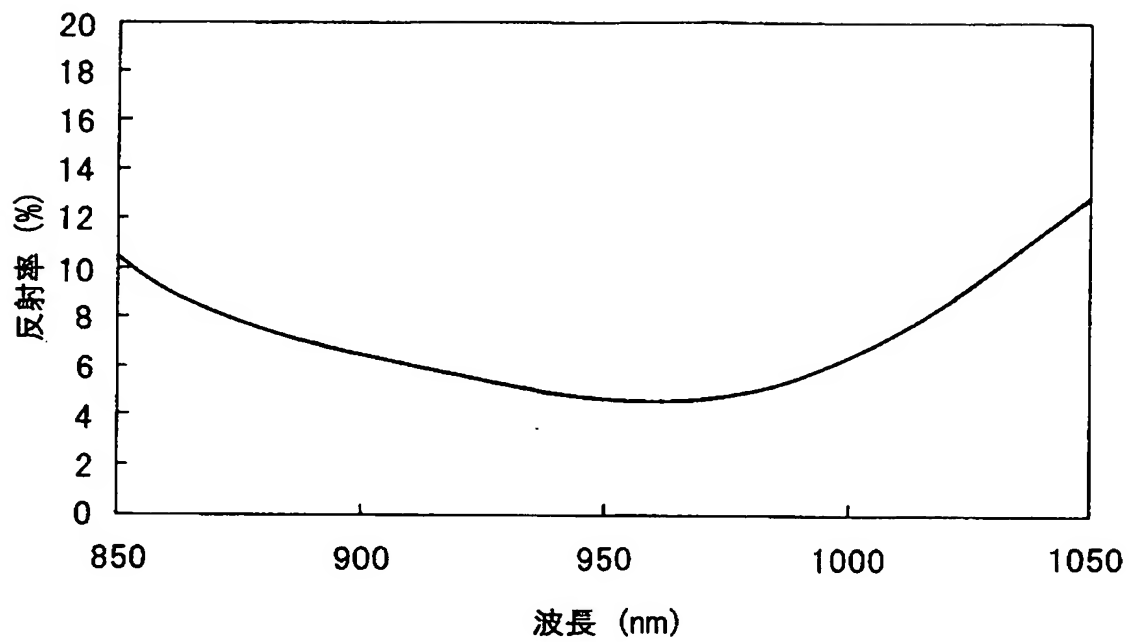
【図 4 7】



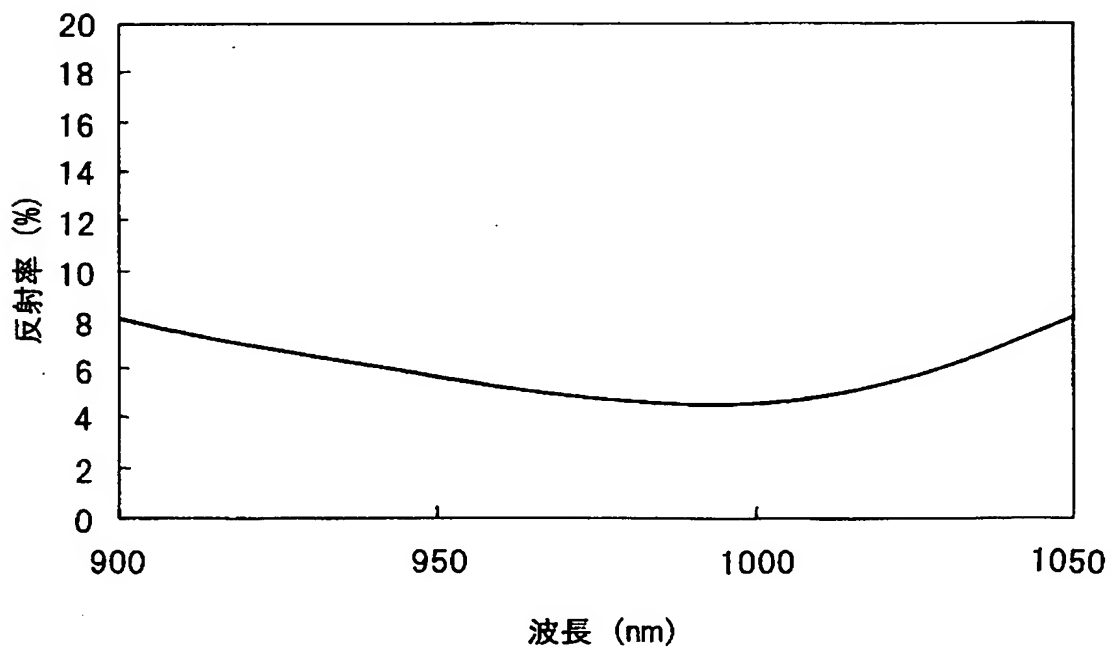
【図 4 8】



【図 49】



【図 50】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 広い波長帯域にわたって低反射率を有する反射膜を備えた半導体光素子を提供する。

【解決手段】 半導体光素子は、活性層と、前記活性層を挟む 2 枚のクラッド層とからなる導波層 10 を含む積層構造体と、前記積層構造体の一对の相対する端面のうち少なくとも一方の端面部に形成された多層反射膜 20 とを備え、前記多層反射膜は、それぞれの膜の屈折率 n_i と膜厚 d_i との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ が、前記導波層を導波する光の波長 λ について、 $\sum n_i d_i > \lambda / 4$ の関係を満足すると共に、前記多層反射膜は、反射率が前記波長 λ の場合の反射率 $R(\lambda)$ を基準として -1% から $+2.0\%$ の範囲内となる前記波長 λ を含む連続する波長帯域幅 $\Delta\lambda$ を、前記波長 λ で割った値 $\Delta\lambda / \lambda$ が 0.062 以上である。

【選択図】 図 5

特願 2 0 0 2 - 2 8 3 4 3 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 6 0 1 3]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号

氏 名

三菱電機株式会社